

① RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

⑪ N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 801 985

⑫ N° d'enregistrement national : **00 15491**

⑤ Int Cl⁷ : G 01 V 3/30, E 21 B 47/00

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

⑫ Date de dépôt : 30.11.00.

③ Priorité : 01.12.99 US 09452576.

⑦ Demandeur(s) : SERVICES PETROLIERS SCHLUMBERGER — FR.

④ Date de mise à la disposition du public de la demande : 08.06.01 Bulletin 01/23.

⑤ Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

⑧ Inventeur(s) : CLARK BRIAN, HOMAN DEAN, BONNER STEPHEN, BARBER THOMAS, ROSTHAL RICHARD, OMERAGIC DZEVAT et CHESSER SCOTT.

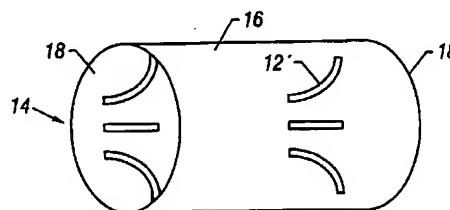
⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑨ Titulaire(s) :

⑩ Mandataire(s) : BREVALEX.

⑤ PROCÉDE ET DISPOSITIF POUR DIAGRAPHIE DIRECTIONNELLE DE Puits.

⑦ Procédés et dispositif pour effectuer des mesures directionnelles de formations terrestres entourant un trou de forage. De nouveaux blindages (14) de bobine d'antenne sont utilisés pour réaliser une atténuation sélective d'au moins une composante de champ d'énergie électromagnétique lorsque la composante interagit avec le blindage (14). Les nouveaux blindages (14) sont mis en application dans plusieurs configurations d'outil en fond de trou pour procurer des mesures de formation concentrées de façon azimutale. Le nouveau blindage (14) filtre les composantes de champ d'énergie électromagnétique interagissantes pour laisser passer les composantes correspondant à un dipôle magnétique orienté à un certain angle par rapport à l'axe de l'outil. Les blindages (14) modifient de ce fait une enveloppe d'influence de la bobine sur l'énergie électromagnétique. Les nouveaux blindages (14) forment une partie d'un système pour effectuer des mesures directionnelles tout en forant.



FR 2 801 985 - A1



**PROCEDE ET DISPOSITIF POUR DIAGRAPHIE DIRECTIONNELLE
DE PUITS**

ARRIERE-PLAN DE L'INVENTION

5

Domaine de l'invention

La présente invention se rapporte au domaine de la
diagraphie de puits et, plus particulièrement, à un
procédé et à un appareil améliorés pour effectuer des
10 mesures concentrées en fond de trou de caractéristiques
d'une formation géologique. L'invention a une
application globale dans la technique de diagraphie de
puits, mais est particulièrement utile lors de la
diagraphie tout en forant.

15

Description de la technique concernée

Une diagraphie de résistivité est une forme bien
connue de diagraphie par propagation électromagnétique
("EM"). La diagraphie de résistivité est utilisée pour
20 mesurer et évaluer les caractéristiques de zones
comportant des hydrocarbures potentiels dans des
formations souterraines. Des formations poreuses ayant
une résistivité élevée indiquent, d'une manière
générale, la présence d'hydrocarbures, tandis que des
25 formations à faible résistivité sont, d'une manière
générale, saturées en eau.

Dans les techniques de diagraphie classiques, un
certain nombre d'antennes ou bobines sont montées sur
un outil de puits. L'outil est abaissé dans un trou de
30 forage sur l'extrémité d'un câble ou câble de travail.
Un courant alternatif excite une ou plusieurs bobines
d'émetteur pour émettre une énergie EM dans les
formations. L'énergie émise se propage à travers les
formations ou induit des courants dans les formations
35 entourant le trou de forage. L'énergie EM ou les

courants sont détectés et mesurés par une ou plusieurs bobines de récepteur sur l'outil. Le câble, qui est attaché à une certaine sorte de centre de traitement mobile au niveau de la surface, est le moyen par lequel
5 les données mesurées sont envoyées jusqu'à la surface. Avec ce type de diagraphie par câble de travail, il devient possible de mesurer des paramètres de trou de forage et de formation en tant que fonction de la profondeur, c'est-à-dire tandis que l'outil est en
10 train d'être tiré vers le haut.

Une variante aux techniques de diagraphie par câble de travail est la collecte de données sur des conditions en fond de trou lors du processus de forage. En recueillant et en traitant des informations de ce
15 type pendant le processus de forage, l'ouvrier chargé du forage peut modifier ou corriger des étapes clés de l'opération pour optimiser les performances. Des informations supplémentaires recueillies lors du forage tendent également à être moins affectées par des
20 processus d'invasion de fluide ou par d'autres influences non souhaitables en conséquence de la pénétration dans le trou de forage, et par conséquent, sont plus proches des propriétés de la formation vierge.

Des systèmes pour la collecte de données de conditions de fond de trou et de déplacement de l'ensemble de forage pendant l'opération de forage sont connus en tant que techniques de mesure tout en forant ("MWD" ou "Measurement-While-Drilling"). Des techniques
25 similaires se concentrant plus sur des caractéristiques de formation que sur le déplacement de l'ensemble de forage sont connues en tant que diagraphie tout en forant ("LWD" ou "Logging-While-Drilling"). Cependant, les termes MWD et LWD sont souvent utilisés de façon
30 interchangeable, et l'utilisation de l'un ou l'autre

terme dans la présente description devrait être comprise comme incluant à la fois la collecte d'informations de formation et de trou de forage, aussi bien que des données concernant le déplacement de l'ensemble de forage.

Le brevet US-3 551 797 décrit une technique classique de diaggraphie par propagation EM. Ce brevet décrit la transmission d'énergie EM dans les formations, où l'énergie perdue en retour dans le trou de forage est mesurée par des récepteurs pour déterminer l'atténuation relative et/ou le déphasage de l'énergie EM se propageant dans la formation. Voir également B. Clark et al., *Electromagnetic Propagation Logging While Drilling : Theory and Experiment*, SPE SIXTY-THIRD ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE AND EXHIBITION, article 18 117, 1988.

Les brevets US-4 899 112 et US-5 594 343 (les deux étant attribués au cessionnaire de la présente invention) décrivent des outils classiques de diaggraphie de puits utilisés pour évaluer la résistivité des formations lors d'opérations par LWD. Le brevet US-4 899 112 concerne la détermination de la résistivité de la formation à différentes profondeurs radiales d'investigation avec l'utilisation de récepteurs placés entre deux émetteurs. Le brevet US-5 594 343 concerne la détermination de propriétés de formation à différentes profondeurs radiales d'investigation avec l'utilisation de multiples émetteurs à différents espacements à partir d'un couple de récepteurs.

Si les bobines d'antenne sur ces outils sont parfaitement configurées et équilibrées dans un système théorique idéal, l'énergie EM émise par les bobines se propagerait dans un mode connu en tant que mode transversal électrique ("TE"), du type produit par un

dipôle magnétique vertical idéal. Cependant, sous des conditions de mise en œuvre réelle, il y a différents facteurs qui donnent naissance à la production de composantes de champ EM non souhaitées significatives.

5 Une approche particulière pour soulager ce problème est l'utilisation de blindages d'antenne pour réduire l'émission et/ou la réception de composantes de champ EM fausses et non voulues. Ces blindages sont utilisés, de manière classique, en relation avec chaque bobine
10 sur l'outil.

Les brevets US-4 536 714 et US-4 949 045 (les deux étant attribués au cessionnaire de la présente description) décrivent des blindages d'antenne classiques utilisés dans ces outils pour réaliser une
15 protection mécanique pour les bobines et pour garantir le passage de composantes de champ EM souhaitées. Comme le montre la figure 1A, ces blindages 10 sont sous la forme d'un cylindre de métal qui possède des fentes 12 dans la direction axiale. Le motif de fente 12 permet à
20 la composante azimutale (E_ϕ) de l'énergie EM de passer, mais empêche les composantes radiales (E_r) et axiales (E_z) du champ électrique de passer à travers le blindage, soit à partir de l'intérieur (dans le cas d'un émetteur), soit à partir de l'extérieur (dans le
25 cas d'un récepteur). Une variante de point de vue est de représenter chaque fente axiale 12 en tant que dipôle magnétique axial, comme le montre la figure 1B. Ces dipôles magnétiques sont sensibles aux champs magnétiques axiaux (B_z), mais ils ne sont pas sensibles
30 aux champs magnétiques azimutaux (B_ϕ). Les bobines blindées sont ainsi rendues insensibles aux champs parasites EM de mode transversal magnétique ("TM") associés aux modes de trou de forage, et qui ont des champs électriques radiaux (E_r) et axiaux (E_z) et des
35 champs magnétiques azimutaux (B_ϕ).

Une technique naissante dans le domaine de la
diagraphie de puits est l'utilisation d'outils
incorporant des antennes inclinées, c'est-à-dire dont
les bobines sont inclinées par rapport à l'axe de
5 l'outil. Ces dispositifs sont configurés selon un
certain effort pour modifier la direction de la mesure
en fond de trou. Le Brevet US-5 508 616 décrit un outil
à induction incorporant des bobines inclinées
d'émetteur et de récepteur. La Demande PCT
10 WO 98/00 733, Bear et al., décrit un outil de
diagraphie incluant des bobines triaxiales d'émetteur
et de récepteur. Le brevet US-4 319 191 décrit un outil
de diagraphie incorporant des bobines d'émetteur et de
récepteur alignées de façon transversale. Le brevet
15 US-5 115 198 décrit un outil incluant une bobine de
récepteur triaxiale pour mesurer les propriétés de
formation. Le Brevet U.S. n° 5 757 191 décrit un
procédé et un système pour détecter des propriétés de
formation avec un outil incluant des bobines
20 triaxiales. Cependant, en commun à ces dispositifs et
ces techniques, il y a le besoin de manipuler l'antenne
elle-même afin de parvenir à une quelconque directivité
de mesure.

Il est souhaitable de parvenir à un dispositif qui
25 peut réaliser des mesures directionnelles en fond de
trou sans être limité à l'utilisation de bobines
inclinées. De plus, on souhaite réaliser un système qui
peut donner une mesure concentrée en fond de trou de
façon azimutale avec l'utilisation de bobines inclinées
30 ou non inclinées.

RESUME DE L'INVENTION

Des procédés et un dispositif sont prévus pour
effectuer des mesures directionnelles des
35 caractéristiques de formations terrestres entourant un

trou de forage. Les procédés et le dispositif décrits comprennent l'utilisation d'un nouveau blindage d'antenne conçu pour définir une atténuation sélective d'au moins une composante de champ d'énergie électromagnétique lorsque la composante interagit avec le blindage pour faire tourner l'axe du dipôle magnétique de l'antenne, modifiant de ce fait l'enveloppe d'influence de l'antenne sur l'énergie électromagnétique.

10 L'invention propose un dispositif directionnel de diagraphe pour mesurer des caractéristiques de formations terrestres entourant un trou de forage. Le dispositif comprenant des moyens de support longitudinal ayant deux extrémités et conçus pour être
15 mobiles à travers le trou de forage ; au moins une bobine d'émission et au moins une bobine de réception montées sur les moyens de support, chaque bobine étant respectivement conçue pour émettre ou recevoir une énergie électromagnétique ayant des composantes de
20 champ azimutales, axiales ou radiales ; et au moins une bobine d'émission ou au moins une bobine de réception étant entourée par un blindage, le blindage ayant au moins une fente inclinée ou un élément conducteur incliné en son sein, chaque fente inclinée ou chaque
25 élément conducteur incliné étant incliné à un certain angle par rapport à l'axe longitudinal des moyens de support pour définir une atténuation sélective d'au moins une des composantes de champ d'énergie électromagnétique lorsque la composante interagit avec
30 le blindage ; de sorte que les caractéristiques de formation sont mesurées dans une direction concentrée à cause de la mise en place du blindage sur l'au moins une bobine d'émission ou de réception.

L'invention propose également un système pour
35 effectuer des mesures directionnelles pendant le forage

d'un trou de forage en utilisant une chaîne de forage. Le système comprend un premier sous-ensemble relié à l'extrémité de fond de la chaîne de forage ; un second sous-ensemble ayant un foret relié à une extrémité de
5 cette dernière ; des moyens formant moteur reliés entre les premier et second sous-ensembles ; les premier et second sous-ensembles ayant chacun au moins une antenne montée sur ces derniers ; chaque au moins une antenne étant conçue pour émettre ou recevoir une énergie
10 électromagnétique ayant des composantes de champ azimutales, axiales ou radiales ; et au moins une antenne étant entourée par un blindage, le blindage ayant au moins une fente inclinée ou un élément conducteur incliné en son sein, chaque fente inclinée
15 ou chaque élément conducteur incliné étant incliné à un certain angle par rapport à l'axe du trou de forage pour réaliser une atténuation sélective d'au moins une des composantes de champ d'énergie électromagnétique lorsque la composante interagit avec le blindage.

20 L'invention propose également un dispositif directionnel de diagraphie pour mesurer des caractéristiques de formations terrestres entourant un trou de forage. Le dispositif comprend des moyens de support longitudinal ayant deux extrémités et conçus
25 pour être mobiles à travers le trou de forage ; au moins une bobine d'émission et au moins un couple de bobines de réception montées sur les moyens de support, chaque bobine étant respectivement conçue pour émettre ou recevoir une énergie électromagnétique ayant des
30 composantes de champ azimutales, axiales ou radiales ; et au moins une bobine d'émission ou les deux bobines d'au moins un couple de bobines de réception étant entourée(s) par un blindage ; le blindage ayant au moins une fente inclinée ou un élément conducteur
35 incliné en son sein, chaque fente inclinée ou chaque

élément conducteur incliné étant incliné à un certain angle par rapport à l'axe longitudinal des moyens de support ; de sorte que chaque fente inclinée ou chaque élément conducteur incliné définit une atténuation sélective d'au moins une des composantes de champ d'énergie électromagnétique lorsque la composante interagit avec le blindage pour mesurer les caractéristiques de la formation dans une direction concentrée.

10 L'invention propose également un procédé pour la mesure directionnelle des caractéristiques de formations terrestres entourant un trou de forage. Le procédé comprend le positionnement d'au moins un couple de bobines d'émission et d'au moins un couple de bobines de réception à l'intérieur du trou de forage, chaque bobine d'au moins un couple de bobines d'émission et chaque bobine d'au moins un couple de bobines de réception étant entourées de façon individuelle par un blindage, chaque blindage individuel ayant au moins une fente inclinée ou un élément conducteur incliné en son sein, de sorte que chaque fente inclinée ou chaque élément conducteur incliné définit une atténuation sélective d'au moins une composante de champ d'énergie électromagnétique lorsque la composante interagit avec le blindage ; l'émission en alternance d'énergie électromagnétique en provenance de chaque bobine d'émission d'au moins un couple de bobines d'émission blindées ; la réception de données de tension associées à l'énergie émise au niveau des deux bobines de réception d'au moins un couple de bobines de réception blindées ; la rotation des deux bobines de l'au moins un couple de bobines d'émission blindées et des deux bobines de l'au moins un couple de bobines de réception blindées de 180 degrés autour de l'axe du trou de forage ; l'émission

en alternance d'énergie électromagnétique en provenance de chaque bobine d'émission de l'au moins un couple de bobines d'émission blindées ; et la réception de données de tension associées à l'énergie émise au
5 niveau des deux bobines de réception de l'au moins un couple de bobines de réception blindées.

L'invention propose également un procédé pour effectuer des mesures directionnelles d'une formation terrestre entourant un trou de forage. Le procédé
10 comprend la disposition d'au moins une bobine d'émission et d'au moins une bobine de réception à l'intérieur du trou de forage, chaque bobine étant conçue pour émettre ou recevoir respectivement une énergie électromagnétique incluant des composantes de
15 champ azimutales, axiales ou radiales ; la concentration du rayonnement d'énergie électromagnétique en provenance d'au moins une bobine d'émission en entourant la bobine par au moins un blindage, chaque au moins un blindage ayant au moins
20 une fente inclinée ou un élément conducteur incliné en son sein, chaque fente inclinée ou chaque élément conducteur incliné étant incliné à un certain angle par rapport à l'axe du trou de forage, pour atténuer de manière sélective au moins une des composantes de champ
25 d'énergie électromagnétique lorsque la composante interagit avec l'au moins un blindage ; l'émission d'énergie électromagnétique en provenance d'au moins une bobine d'émission blindée ; et la réception d'énergie électromagnétique associée à l'énergie émise
30 au niveau d'une bobine de réception disposée.

L'invention propose également un procédé pour effectuer des mesures directionnelles d'une formation terrestre entourant un trou de forage. Le procédé
comprend la disposition d'au moins une bobine
35 d'émission et d'au moins une bobine de réception à

l'intérieur du trou de forage, chaque bobine étant conçue pour émettre ou recevoir respectivement une énergie électromagnétique incluant des composantes de champ azimutales, axiales ou radiales ; la concentration de la sensibilité sur l'énergie électromagnétique d'au moins une bobine de réception entourant la bobine par au moins un blindage, chaque au moins un blindage ayant au moins une fente inclinée ou un élément conducteur incliné en son sein, chaque fente inclinée ou chaque élément conducteur incliné étant incliné à un certain angle par rapport à l'axe du trou de forage, pour atténuer de manière sélective au moins une des composantes de champ d'énergie électromagnétique lorsque la composante interagit avec l'au moins un blindage ; l'émission d'énergie électromagnétique en provenance d'au moins une bobine d'émission ; et la réception d'énergie électromagnétique associée à l'énergie émise avec au moins une bobine de réception blindée.

20

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront plus clairement à la lecture de la description qui va suivre lorsque prise en relation avec les dessins annexés, dans lesquels :

la figure 1A est une vue schématique d'un blindage cylindrique classique ayant des fentes axiales. Les flèches orientées sont représentatives de l'interaction entre le blindage et les composantes de champ électrique de l'énergie électromagnétique incidente ;

la figure 1B est une vue schématique d'un blindage cylindrique classique ayant des fentes axiales. Les flèches orientées sont représentatives de l'interaction entre le blindage et les composantes de champ magnétique de l'énergie électromagnétique incidente ;

les figures 2A à 2C sont des vues schématiques des volumes d'influence globaux sur l'énergie électromagnétique, obtenus avec des configurations de bobines d'antenne différentes montées le long d'un élément de support ;

la figure 3 est une représentation d'une bobine enroulée à un angle θ par rapport à l'axe longitudinal d'un outil de puits. On décrit également une vue de la bobine inclinée, projetée sur une surface à deux dimensions ;

la figure 4 est une représentation d'un motif de fente inclinée superposé sur une bobine inclinée et projeté sur une surface à deux dimensions. Les fentes sont maintenues perpendiculaires à l'enroulement de bobine ;

la figure 5 est une représentation d'un motif de fente inclinée superposé sur une bobine (axiale) non inclinée et projeté sur une surface à deux dimensions ;

la figure 6 est un schéma du motif de fente inclinée de la figure 5, les fentes étant maintenues centrées sur les enroulements de bobine ;

la figure 7 est une vue schématique d'un blindage cylindrique selon l'invention ;

la figure 8A est une vue schématique d'un blindage cylindrique selon l'invention. Les flèches en pointillés représentent les composantes de dipôle magnétique axial et de dipôle magnétique transversal associées au motif de fente du blindage ;

la figure 8B est une section transversale globale d'un outil ayant le blindage de la figure 8a, lorsque vu le long de la ligne A-A lorsque l'outil est dans un trou de forage ;

la figure 9 est une vue schématique d'un blindage constitué d'une bande selon l'invention. La bande est représentée projetée sur une surface à deux

dimensions ;

la figure 10 est une vue non déroulée d'un blindage constitué d'une bande contenant de multiples éléments conducteurs selon la présente invention ;

5 la figure 11 est une vue schématique du blindage de la figure 10 superposé sur les enroulements d'une bobine inclinée selon la présente invention ;

la figure 12 est une vue schématique d'une configuration directionnelle d'outil de diagraphie
10 selon l'invention ;

la figure 13 est une représentation montrant un système LWD à l'extrémité d'une chaîne de forage selon l'invention ;

la figure 14 est une vue de profil d'un mode de
15 réalisation du système LWD de la figure 11 ;

la figure 15 est une vue schématique d'un mode de réalisation du système LWD des figures 13 et 14 selon l'invention ;

la figure 16 est une vue globale d'un trou de
20 forage divisé en quadrants radiaux ;

la figure 17 est une vue schématique d'une configuration d'outil de diagraphie selon l'invention ;

la figure 18 est une vue schématique d'une autre configuration d'outil de diagraphie selon l'invention ;

25 les figures 19A et 19B sont des vues schématiques représentant des motifs de rayonnement de propagation électromagnétique associés à une technique de compensation de trou de forage ;

la figure 20 représente un organigramme d'un
30 procédé pour mettre l'invention en application ;

la figure 21 représente un autre organigramme d'un procédé pour mettre l'invention en application ;

la figure 22 représente un autre organigramme d'un procédé pour mettre l'invention en application.

**DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION
SPECIFIQUES**

Dans un souci de clarté, on ne décrira pas toutes les caractéristiques de mise en application réelle dans ce document. On appréciera que, bien que le développement d'une quelconque mise en application réelle de ce type puisse être complexe et consommateur de temps, cela soit néanmoins une simple formalité pour les hommes de l'art ayant le bénéfice de cette description.

Comme on l'a précédemment décrit, une bobine d'émetteur excitée sur un outil de diagraphie va irradier la formation environnante par une énergie EM. L'énergie EM est détectée par une ou plusieurs bobines de récepteur sur l'outil. La figure 2A représente la sensibilité globale du champ de la bobine 11 à l'énergie EM pour une configuration classique de bobine (axiale) non inclinée 11. La figure 2B représente la sensibilité globale du champ de la bobine 11 pour une configuration de bobine 11 dans laquelle une bobine 11 est inclinée par rapport à l'axe de l'outil (représenté par la ligne pleine). La figure 2C représente la sensibilité globale du champ de la bobine 11 pour une configuration de bobine 11 dans laquelle les deux bobines 11 sont inclinées par rapport à l'axe de l'outil. La sensibilité maximale peut être obtenue lorsque les deux bobines 11 sont inclinées, comme le montre la zone ombrée de chevauchement à la figure 2c. Les figures 2A à 2C montrent qu'en inclinant la bobine 11, l'axe de son dipôle magnétique est tourné, modifiant de ce fait le champ d'influence de la bobine 11 à l'énergie EM.

En dirigeant de manière sélective la sensibilité d'une bobine 11, des mesures de formation concentrées de façon azimutale peuvent être obtenues avec

précision. En plus de la diagraphie par câble de travail, cette technique peut être appliquée à d'autres opérations incluant la performance de forage (trou droit) ; le forage directionnel (lorsque le trajet du trou de forage change de direction pour suivre une course géométrique dans un plan) ; et la géo-direction (lorsque le trajet du trou de forage change de direction pour optimiser sa position locale à l'intérieur d'un réservoir).

10

Blindages d'antenne

Comme on l'a précédemment examiné, des blindages classiques utilisés dans des outils de puits comportent des fentes qui sont alignées le long de l'axe longitudinal de l'outil. L'orientation des fentes est perpendiculaire au champ électrique produit par la bobine en son sein ou au champ électrique qui est à détecter par le récepteur. Si le champ incident comporte une composante non voulue du champ électrique qui se situe le long de la fente, alors des courants vont s'écouler dans le métal pour annuler ce champ et seule la composante normale va subsister. Pour des outils de diagraphie classiques, le champ électrique souhaité est azimutal, et des fentes longitudinales permettent à ce champ de passer. Si la bobine est enroulée à un angle θ par rapport à l'axe de l'outil, alors le champ électrique souhaité n'est pas plus longtemps azimutal, mais comporte à la fois des composantes azimutales et longitudinales qui varient en tant que fonction de la position azimutale.

La figure 3 représente une bobine 11 enroulée à un angle θ par rapport à l'axe longitudinal (représenté par des lignes en pointillés) d'un outil et ayant un rayon α . En projetant la bobine 11 sur une surface à deux dimensions, comme on le représente, la hauteur de

la bobine 11 est décrite par une fonction sinusoïdale de l'angle azimutal ϕ autour de l'outil :

$$f(\phi) = \alpha \tan \theta \cos \phi \quad (1)$$

Une bobine réelle aurait probablement de multiples enroulements, décrits par l'équation (1), mais avec un terme supplémentaire $p\phi$, où p est le pas. Des blindages efficaces pour des configurations de bobine de ce type préserveraient à la fois les avantages mécaniques et les avantages EM offerts par des blindages classiques.

10

Motif de fente inclinée

Un blindage pour laisser passer les composantes de champ EM souhaitées, et pour atténuer les composantes non souhaitées, devrait avoir au moins une fente inclinée qui est inclinée à un angle θ par rapport à l'axe de l'outil. Un motif de fente inclinée pour une bobine inclinée 11, projetée sur une surface à deux dimensions, est représenté à la figure 4. Les fentes 12' sont perpendiculaires à la bobine 11 au niveau de l'intersection de la fente 12' et de la bobine 11. Cela permet à la composante de champ électrique qui est parallèle à la bobine 11 de passer à travers le blindage avec une atténuation minimale. Ce champ électrique va avoir des composantes azimutales et axiales, mais pas de composante radiale. L'inclinaison de la fente 12' est donnée par :

$$1 / (\alpha \tan \theta \sin \phi) \quad (2)$$

Comme variante, on peut représenter les fentes 12' comme des dipôles magnétiques ponctuels sur la surface d'un cylindre conducteur (non représenté). L'emplacement de chaque dipôle magnétique est donné par l'équation (1), et leur orientation est donnée par l'équation (2). Chaque dipôle magnétique individuel possède une composante axiale et une composante azimutale plus petite.

35

Tandis que l'examen précédent a supposé que la bobine sous le blindage est inclinée à un angle θ par rapport à l'axe de l'outil, les blindages 14 de la présente invention peuvent également être utilisés avec
5 une bobine axiale 11. Avec cette configuration, l'axe du dipôle magnétique de la bobine peut être tourné de manière sélective. La figure 5 représente un motif de fente inclinée 12' superposé sur une bobine axiale 11 et projeté sur une surface à deux dimensions. Cette
10 configuration va s'écarter de la configuration de la figure 4.

Comme le montre la figure 5, les fentes 12' ne sont pas plus longtemps perpendiculaires aux enroulements de la bobine 11. Cela peut affecter
15 l'intensité relative de la composante transversale de dipôle magnétique ("TMD") par rapport à la composante axiale de dipôle magnétique. Une approche pour minimiser ces effets serait de maintenir les fentes 12' centrées sur la bobine 11, comme le montre la figure 6.
20 La figure 6 représente également un motif de fente inclinée 12' superposé sur une bobine axiale 11 et projeté sur une surface à deux dimensions. Bien que les bobines 11 des figures 5 et 6 soient représentées comme comprenant des enroulements multiples, les hommes de
25 l'art comprendront que les blindages de la présente invention sont efficaces avec des bobines 11 constituées d'un ou de plusieurs enroulements.

Tandis que les figures 4 à 6 représentent des fentes droites 12', en général, les fentes 12' sont
30 incurvées afin de maintenir l'orientation des fentes 12' perpendiculaire aux orientations du ou des enroulement(s) ou pour les conserver perpendiculaires à l'orientation souhaitée du champ électrique qui doit passer à travers le blindage sans atténuation. Toutes
35 les conceptions de blindage décrites dans ce document

peuvent être utilisées en relation soit avec les bobines axiales inclinées, soit avec les bobines axiales classiques.

L'entourage d'une bobine axiale 11 par un blindage de la présente invention va produire des champs magnétiques transversaux. Seule la composante du champ électrique perpendiculaire à la fente 12' va passer à travers le blindage ; les composantes parallèles à la fente 12' vont être atténuées. Le champ électrique qui passe à travers les fentes 12' est dans la direction qui résulterait d'une vraie bobine inclinée. A la base, le blindage 14 fonctionne comme un polariseur qui laisse passer les composantes du champ EM correspondant à un dipôle magnétique orienté à un angle incliné par rapport à l'axe de l'outil. On reconnaîtra que cette description est quelque peu simplifiée et qu'un développement supplémentaire du comportement d'un blindage 14 dépend, de façon compliquée, des détails de la structure de l'outil. La dépendance à des paramètres, tels que le nombre de fentes 12', leur hauteur, leur largeur et leur orientation, la fréquence de mise en œuvre de l'outil, les propriétés électriques des matières ou les détails des enroulements de bobine, peut être principalement obtenue par l'intermédiaire de techniques de modélisation sophistiquées ou par expérience comme le savent les hommes de l'art.

La figure 7 représente un mode de réalisation d'un blindage 14 de la présente invention. Un mode de réalisation du blindage 14 implique un corps creux 16 formé d'une matière conductrice, de manière classique un métal. Le blindage 14 possède des ouvertures 18 au niveau de ses extrémités, à travers lesquelles le corps de l'outil passe (non représenté). Le corps creux 16 peut être fermé ou ouvert aux extrémités. Le corps 16 a une forme globale d'une surface de révolution. On

préfère le cylindre, bien que d'autres formes, telles qu'un ellipsoïde de révolution, puissent être utilisées. De préférence, un blindage 14 va entourer de façon indépendante chaque bobine 11 sur un outil. Le
5 blindage 14 peut être monté sur l'outil d'une manière appropriée comme on le sait dans la technique.

Le motif de rayonnement EM autour d'un outil de diagraphie peut être affecté par l'outil lui-même, ainsi une mise en œuvre optimale du blindage 14 peut
10 exiger le réglage fin du motif exact de la fente 12'. La modélisation montre qu'une excentricité de trou de forage peut avoir un gros effet nuisible sur une mesure en utilisant une technique TMD. La technique TMD excentrée peut être directement couplée dans des modes
15 TM de trou de forage via le champ magnétique azimuthal du mode TM (B_ϕ). Etant donné qu'une bobine inclinée 11 peut être représentée comme une somme vectorielle d'un dipôle magnétique axial et d'un dipôle magnétique transversal, elle va être également sensible à de
20 grands effets d'excentricité.

Cependant, les configurations du blindage 14 de la présente invention vont procurer une certaine immunité au mode TM, ainsi on peut fortement réduire la gravité des effets d'excentricité. La figure 8A représente la
25 composante axiale de dipôle magnétique B_A et la composante transversale de dipôle magnétique B_T associées à chaque fente 12'. Comme le montre la figure 8a, le motif de fente 12' permet une certaine annulation des composantes transversales opposées de
30 dipôle magnétique B_T .

La figure 8B est une vue globale d'un outil, le blindage de la figure 8A étant vu le long d'une ligne A-A lorsque l'outil est dans un trou de forage. Comme le montre la figure 8B, le champ magnétique azimuthal du
35 mode TM (B_ϕ) peut être couplé aux composantes

transversales de dipôle magnétique B_T des fentes 12'. Le champ électrique radial (E_r) du mode TM ne va pas pénétrer dans le blindage 14, de sorte que la bobine 11 ne va pas le détecter.

- 5 Les dipôles magnétiques transversaux varient avec l'angle azimutal ϕ comme $\sin \phi$. Le champ magnétique du mode TM peut être écrit de la manière suivante :

$$B_\phi(\phi) = B_0 + B_1 \sin \phi + B_2 \sin 2\phi + \dots (3)$$

- Le champ B_0 ne va pas être détecté par la bobine 11
10 parce que B_0 est une fonction paire de ϕ , tandis que les dipôles magnétiques transversaux sont une fonction impaire de ϕ . La même chose est vraie pour $B_2 \sin 2\phi$. Cependant, $B_1 \sin \phi$ est une fonction impaire de ϕ , de sorte que la bobine 11 va le détecter. En supposant que
15 la conductivité de l'outil est de plusieurs ordres d'amplitude supérieure à celle du fluide du trou de forage ou de la formation, le champ magnétique azimutal (B_ϕ) ne va pas beaucoup varier avec l'angle azimutal ϕ . Donc, $B_0 \gg B_1, B_2$, de sorte que le couplage TM avec
20 les fentes 12' va être très faible en moyenne.

- Des modifications peuvent être apportées au blindage 14 ou à la bobine 11 pour modifier l'amplitude azimutale de l'énergie EM incidente ou l'angle de rotation du dipôle magnétique. Des blindages multiples
25 14 peuvent recouvrir une bobine 11 de manière coaxiale. Des combinaisons de fentes inclinées et de fentes axiales ayant des longueurs, largeurs, épaisseurs, orientations, symétries, densités, ou espacements variables, peuvent être formées sur un blindage 14. Les
30 fentes inclinées 12' peuvent avoir des angles d'inclinaison égaux ou différents. Les fentes 12' peuvent être partiellement ou totalement remplies par une certaine sorte de matière à fortes pertes (c'est-à-dire conductrice). Un élément conducteur, tel qu'une
35 lanière ou câble métallique, peut être relié entre les

côtés d'une fente 12' pour court-circuiter partiellement la fente 12'.

Un blindage 14 de l'invention peut également être formé comme comprenant deux moitiés ou plusieurs sections configurées pour former une surface de révolution lorsqu'elles sont combinées (non représenté). Une configuration de ce type peut comprendre de plus une section particulière ou une moitié particulière du blindage 14 électriquement isolée de l'autre moitié ou des autres sections. L'espacement entre la bobine et ses moyens de support ou l'espacement entre la bobine et le blindage 14 peuvent également être modifiés. Les hommes de l'art ayant le bénéfice de la présente description apprécieront que d'autres modifications puissent être apportées pour améliorer l'efficacité du blindage 14.

Blindage en bande

La figure 9 représente un autre mode de réalisation de blindage de la présente invention. Un blindage peut être réalisé sous la forme d'une bande 20, à laquelle on se réfère également par circuit souple. La bande 20 est représentée projetée sur une surface à deux dimensions dans un souci de clarté de la représentation. Une bande efficace 20 peut être formée avec une quelconque matière non conductrice appropriée qui peut être conçue pour entourer une bobine de manière coaxiale. De préférence, la bande 20 est souple, mais elle peut également être formée en matière rigide. La bande 20 contient au moins un élément conducteur 22, de préférence une multitude d'éléments 22. Les éléments conducteurs 22 peuvent être formés de fines bandes de cuivre ou d'autres matières conductrices appropriées.

Comme on l'a précédemment décrit, un blindage

incorporant des fentes inclinées peut être utilisé pour faire tourner le moment magnétique d'une bobine 11. Ainsi, les éléments conducteurs 22 sont disposés dans la bande 20 de sorte que chaque élément 22 est incliné à un certain angle par rapport à l'axe de l'outil lorsque la bande est montée sur l'outil pour entourer une bobine 11. Etant donné que la bande 20 est non conductrice (à la différence des modes de réalisation de blindage précédemment décrits), les éléments 22 doivent également être configurés pour former une boucle autour de la bobine lorsque la bande entoure la bobine. La boucle définit le chemin dans lequel des courants peuvent s'écouler autour de la bobine afin de faire tourner l'axe du dipôle magnétique. La bande 20 permet l'atténuation sélective de l'énergie EM émise ou reçue par une bobine 11 quand une boucle complète est formée autour de la bobine 11 par l'élément conducteur 22.

Une connexion pouvant être commutée est prévue dans la bande 20 pour ouvrir ou fermer de manière sélective les boucles formées par les éléments conducteurs 22, comme le montre la figure 9. Cette connexion peut être une série de connexions (figure 9) ou seulement une connexion unique (figure 10). La ou les connexion(s) peu(ven)t également être située(s) à un quelconque point approprié dans le circuit. Lorsque la connexion est fermée, l'élément 22 agit pour faire tourner le dipôle magnétique de la bobine. Lorsqu'elle est ouverte, elle n'a aucun effet. Une forme particulière d'une connexion pouvant être commutée utilise un commutateur MOSFET pour ouvrir ou fermer le chemin de courant autour de la bobine. D'autres moyens appropriés peuvent être utilisés pour former la ou les connexion(s) pouvant être commutée(s), comme on le sait dans la technique.

La bande 20 est construite de sorte que les éléments conducteurs 22 sont partout perpendiculaires au courant dans les enroulements de bobine 11. Les éléments conducteurs 22 sont perpendiculaires à la direction du champ électrique souhaité, si la bande 20 est utilisée avec une bobine inclinée 11 ou avec une bobine enroulée de manière classique. La figure 10 représente un mode de réalisation d'une bande 20 contenant des éléments conducteurs 22 selon l'invention. Les éléments conducteurs peuvent être noyés, collés, ou fixés à la bande souple d'une quelconque manière appropriée, comme on le sait dans la technique.

De plus, pour réaliser l'atténuation sélective des composantes d'énergie EM, la bande 20 agit comme une cage de Faraday pour réduire le couplage capacitif entre les bobines, sans atténuer les composantes souhaitées du champ magnétique. La figure 11 représente la bande 20 de la figure 10 superposée sur les enroulements d'une bobine inclinée 11. Comme le montre la figure 11, les éléments conducteurs 22 sont partout perpendiculaires aux enroulements de bobine 11. Bien que la figure 11 représente la superposition d'une bobine 20 sur une bobine 11, le même motif s'applique à la superposition d'un blindage cylindrique 14 ayant des fentes inclinées 12' sur une bobine 11. La bobine simplifiée 11 et la bande 20 précédemment décrites peuvent être recouvertes pour créer un ensemble de dipôles magnétiques de base. Cela peut être utilisé pour constituer une structure de bobine qui procure une capacité de mesure sélective en trois dimensions.

Les modifications précédemment décrites peuvent également être apportées à la bande 20 ou à la bobine 11 en son sein pour modifier l'amplitude azimutale de l'énergie EM incidente ou l'angle de rotation du dipôle

magnétique. Des couches multiples d'éléments conducteurs 22 ayant des orientations différentes de moments de dipôle magnétique peuvent également être disposées sur la bande 20. Cela permettrait
5 l'utilisation d'une seule bobine axiale en tant qu'émetteur ou récepteur et en fermant la ou les connexion(s) pouvant être commutée(s) sur la bande 20, des rotations différentes du moment magnétique pourraient être obtenues. Comme variante, des bandes
10 multiples 20 pourraient être recouvertes de façon coaxiale pour entourer une bobine.

On va dorénavant se référer à un blindage incorporant une fente inclinée 12' ou élément conducteur incliné 22 par "nouveau blindage", et à une
15 antenne entourée par un nouveau blindage par "nouvellement blindée". On comprendra que toute référence à un nouveau blindage englobe tous les modes de réalisation précédemment décrits, incluant les différentes modifications à ces modes de réalisation.

20

Dispositif/Système directionnel de diagraphe

La figure 12 représente un mode de réalisation de l'invention. Un outil 24 est représenté avec une bobine d'émetteur 26 et une bobine de récepteur 28 montées sur
25 des moyens de support longitudinal 30. Les moyens de support longitudinal 30 sont, de préférence, sous la forme d'un mandrin métallique allongé, cependant d'autres structures de support peuvent être utilisées, incluant un tubage enroulé ou des tuyaux non
30 métalliques, comme on le sait dans la technique. Comme le montre la figure 12, la bobine d'émetteur 26 est entourée par un nouveau blindage 14 pour modifier l'orientation de l'énergie EM rayonnée par la bobine 26, modifiant de ce fait le champ de sensibilité de
35 l'outil 24 à des variations azimutales dans des

caractéristiques de formation. L'orientation de la sensibilité azimutale maximale est indiquée par la zone de chevauchement ombrée de la figure 12. La bobine de récepteur 28 est entourée, de préférence, par un blindage classique (non représenté).

En fonctionnement, l'activation des bobines d'émetteur et de récepteur 26, 28 est mise en pratique d'une manière bien connue dans la technique. Les données de tension (correspondant aux déphasages relatifs et à l'atténuation d'amplitude entre les énergies EM émises et reçues) sont produites et traitées par les différents modes de réalisation de l'invention pour évaluer les caractéristiques de la formation, comme on le décrit dans les brevets US-4 899 112 et US-5 594 343. En faisant varier la distance entre la bobine d'émetteur 26 et la bobine de récepteur 28, la profondeur d'investigation peut être modifiée.

On comprendra que des variantes de configurations d'outil 24 puissent comprendre des bobines d'émetteur multiples 26 et/ou des bobines de récepteur multiples 28. Une variante de configuration peut également comprendre l'utilisation d'une bobine d'émetteur 26 et/ou d'une bobine de récepteur 28 montée avec son axe incliné par rapport à l'axe longitudinal des moyens de support 30, en plus d'avoir un nouveau blindage 14 entourant soit une bobine, soit les deux bobines (non représenté). Une autre variante de configuration peut comprendre les deux bobines 26, 28 entourées par de nouveaux blindages 14 (non représenté). L'outil 24 de la figure 12 peut être mis en pratique dans une opération LWD ou par câble de travail, les données mesurées étant envoyées vers la surface comme on le sait dans la technique.

La figure 13 représente un autre mode de

réalisation de l'invention. Un système LWD 100 comprend un premier sous-ensemble 30 relié au niveau de l'extrémité de fond d'une chaîne de forage 32. Le premier sous-ensemble 30 contient au moins une bobine d'émetteur ou de récepteur 34. Le premier sous-ensemble 30 peut être un outil LWD classique, tel que ceux décrits dans les brevets US-4 899 112 et US-5 594 343, chaque bobine d'émetteur et/ou de récepteur 34 étant activée comme on le décrit dans ces documents. Le premier sous-ensemble est relié à un moteur de forage 36. Le moteur de forage 36 peut être un moteur classique comme on le sait dans la technique. Des moteurs 36 de ce type sont alimentés, de manière classique, par un fluide de forage mis en circulation vers le bas à travers l'alésage de la chaîne de forage 32 et en retour vers la surface via l'espace annulaire 38 du trou de forage. Au-dessous du moteur 36, il y a un second sous-ensemble 40. Le second sous-ensemble 40 contient également au moins une bobine d'émetteur ou de récepteur 34 (non représentée) entourée par un nouveau blindage 14.

En se référant à la figure 14, on représente une vue en coupe transversale des composants du système LWD 100. Comme le montre la figure 14, le second sous-ensemble 40 comporte une boîte de foret 42 au niveau de la partie de fond d'un arbre d'entraînement 44. L'arbre d'entraînement 44 est relié au moteur de forage 36 par l'intermédiaire d'un ensemble de transmission interne (non représenté) et d'une section formant palier 46. Un foret 48 est relié à l'extrémité de fond de la boîte de foret 42 (voir la figure 13). Le moteur 36 fait tourner l'arbre 44, qui fait tourner la boîte de foret 42, faisant ainsi tourner le foret 48 lors du forage.

Des mesures directionnelles efficaces de la formation peuvent être obtenues en montant une bobine

d'émetteur 34T sur le second sous-ensemble 40 et une bobine de récepteur 34R sur le premier sous-ensemble 30. La figure 15 représente une configuration d'un système 100 de ce type. La figure 15 représente quatre orientations (A à D) du système 100. Les bobines sous-jacentes 34T, 34R ne sont pas représentées à la figure 15. En plaçant un nouveau blindage 14 autour de la bobine d'émetteur 34T, l'axe du dipôle magnétique de la bobine 34T est tourné comme on l'a précédemment décrit ; concentrant ainsi le champ de rayonnement EM de la bobine 34T. La bobine de récepteur 34R est entourée, de préférence, par un blindage classique 10.

Si le système 100 est dans un milieu homogène loin des couches frontières, alors l'amplitude des ondes EM détectées au niveau de la bobine de récepteur 34R ne va pas varier avec l'angle azimutal instantané du second sous-ensemble en rotation 40. Cependant, si le système 100 est dans un puits horizontal avec une couche frontière adjacente, alors l'amplitude détectée va être modulée selon le nombre de tours par minute (RPM) du moteur 36. On suppose que le système 100 se trouve dans une couche résistive située juste au-dessus d'une couche conductrice. Lorsque la bobine d'émetteur 34T est orientée comme le montre l'orientation B, l'amplitude du signal EM détecté va être maximale (parce que la bobine 34T émet vers le haut dans la formation résistive). Lorsque la bobine d'émetteur 34T est alignée comme dans l'orientation D, l'amplitude va être minimale (parce que la bobine émet vers le bas dans une formation conductrice). Lorsque la bobine d'émetteur 34T est alignée comme dans l'orientation A, le sens de la sensibilité maximale sort de la page. Lorsque la bobine d'émetteur 34T est alignée comme dans l'orientation C, le sens de la sensibilité maximale est dans la page.

Si l'orientation de la bobine d'émetteur 34T nouvellement blindée est connue lorsque la bobine 34T est en cours d'émission, alors le sens vers la couche adjacente est obtenu. Cela nécessite des moyens pour
5 déterminer l'angle azimutal instantané du second sous-ensemble 40 quand il tourne autour de l'axe du trou de forage. Comme on le sait dans la technique, l'utilisation d'un ou de plusieurs magnétomètres 50 incorporés dans le second sous-ensemble 40 (voir la
10 figure 14) constitue des moyens pour déterminer son angle azimutal instantané.

En fonctionnement, la bobine d'émetteur nouvellement blindée 34T peut émettre de façon continue ou par salves séquentielles lorsque le second sous-
15 ensemble 40 tourne. En divisant la circonférence du trou de forage en au moins deux secteurs (représentés à la figure 16), chaque salve d'énergie EM peut être corrélée avec un secteur spécifique. En d'autres termes, lorsque la bobine d'émetteur nouvellement
20 blindée 34T est orientée vers un quadrant particulier, les signaux EM reçus au niveau de la bobine de récepteur 34R sont traités selon le quadrant respectif (par exemple, haut, droite, bas, gauche). Bien que quatre secteurs soient représentés à la figure 16, les
25 mesures peuvent être divisées en un nombre vraisemblable quelconque de secteurs. Pour une émission continue, les signaux EM reçus peuvent être suivis selon le nombre de tours (RPM) du moteur 36.

Le système 100 peut être mis en pratique selon une
30 variante de configuration ayant la bobine de récepteur 34R montée sur le second sous-ensemble 40 et la bobine d'émetteur 34T montée sur le premier sous-ensemble 30. On comprendra que des variantes de configurations du système 100 puissent comprendre des bobines d'émetteur
35 multiples 34T et/ou des bobines de récepteur multiples

34R. Une variante de configuration peut également comprendre l'utilisation d'une bobine d'émetteur 34T et/ou d'une bobine de récepteur 34R montée avec son axe incliné par rapport à l'axe longitudinal du sous-ensemble respectif. Les hommes de l'art comprendront également que des équipements supplémentaires ou des sous-ensembles d'outil puissent être configurés dans le système 100, par exemple une unité de logement coudé. On comprendra de plus qu'un quelconque outil ou sous-ensemble supplémentaire qui est configuré dans le système 100 puisse être conçu comme un outil classique à induction mutuellement équilibré, ou en tout cas, dans lesquels les tensions totales, les rapports de tensions ou les sommes ou les différences sont mesurés.

Les mesures directionnelles obtenues avec le système 100 devraient avoir une bonne immunité aux différentes erreurs systématiques. Cela résulte de la nature différentielle de la mesure, qui compare des signaux "haut" à des signaux "bas", et des signaux "gauche" à des signaux "droite", etc. Par exemple, un changement d'ensemble de la résistivité d'arrière-plan ne va pas affecter les données différentielles "haut" par rapport à "bas". L'intégration sur de nombreuses révolutions va également tendre à annuler de nombreuses autres sources possibles d'erreurs, telles que la dérive d'impédance de bobine. De plus, en modifiant la distance entre le premier sous-ensemble 30 et le second sous-ensemble 40, la mesure de la formation va avoir une profondeur d'investigation raisonnable.

En se référant à la figure 17, on représente un autre mode de réalisation de l'invention. Un outil 50, similaire à celui décrit dans les brevets US-4 899 112 et US-5 594 343, peut être mis en application avec des nouveaux blindages 14. Une mise en application efficace est obtenue avec l'outil 50 ayant au moins une bobine

d'émetteur 52 et au moins un couple de bobines de récepteur étroitement espacées 54 montées sur le mandrin 56. Chaque bobine est entourée par un nouveau blindage 14 pour faire tourner l'axe de son dipôle magnétique. Ainsi, le champ d'influence à l'énergie EM de chaque bobine 52, 54 est établi par le placement d'un nouveau blindage 14 autour de la bobine respective. L'utilisation de deux bobines de récepteur 54 permet une technique de quasi-compensation de trou de forage dans les mesures de la formation. La compensation de trou de forage est davantage décrite dans la suite du document.

En désignant des quadrants de trou de forage et en suivant les signaux EM reçus comme on l'a précédemment décrit, des mesures concentrées de façon azimutale peuvent être obtenues avec l'outil 50. Cette configuration peut également être mise en pratique avec la bobine d'émetteur 52 et/ou les bobines de récepteur 54 ayant leurs axes inclinés par rapport à l'axe longitudinal du mandrin 56. L'outil 50 peut être mis en pratique dans une opération LWD ou par câble de travail, les données mesurées étant envoyées vers la surface comme on le sait dans la technique.

La figure 18 représente un autre mode de réalisation de l'invention. Cette configuration utilise l'outil 50 de la figure 17, une bobine d'émetteur supplémentaire 58 étant montée sur le mandrin 56. Chaque bobine sur l'outil 50 est entourée par un nouveau blindage 14 pour établir son champ d'influence à l'énergie EM. La figure 18 représente quatre vues (A à D) correspondant à des angles azimutaux de l'outil 50 de 0°, 90°, 180° et 270°. En montant la bobine d'émetteur supplémentaire 58 de sorte que les bobines de récepteur 54 soient situées entre les émetteurs 52, 58, une compensation de trou de forage peut être

obtenue lors de la mesure de la formation.

En se référant aux figures 19A et 19B, un schéma de rayonnement simplifié est représenté pour montrer une technique classique de compensation de trou de forage, comme on le décrit dans le brevet US-4 899 112. Dans un but de représentation, on se réfère respectivement aux bobines d'émetteur 52, 58 (de l'outil 50 de l'invention) par émetteur en haut de trou et émetteur en fond de trou en se référant aux figures 19A et 19B. De manière similaire, on se réfère aux bobines de récepteur 54 par R1 et R2. A la figure 19A, l'émetteur en haut de trou est en émission et l'émetteur en fond de trou est à l'arrêt. Le diamètre du trou de forage est supposé changer, dans cet exemple, de 2a en R1 à 2b en R2. Les phases et les amplitudes des données de tension en R1 et R2 sont respectivement désignées par Φ_{1d} , $|S_{1d}|$, et Φ_{2d} , $|S_{2d}|$. Comme on le décrit dans le brevet 112, le déphasage et l'atténuation de l'onde EM se propageant vers le bas sont les suivants :

$$\Phi_d = \Phi_{2d} - \Phi_{1d} \quad (4)$$

et

$$A_d = 20 \log_{10} (|S_{2d}/S_{1d}|) \quad (5)$$

En se référant à la figure 19B, dans laquelle on suppose que l'émetteur en fond de trou est en émission et que l'émetteur en haut de trou est à l'arrêt, les phases et les amplitudes des données de tension en R1 et R2 pour ce cas sont respectivement désignées par Φ_{1u} , $|S_{1u}|$, et Φ_{2u} , $|S_{2u}|$. Le déphasage et l'atténuation de l'onde EM se propageant vers le haut sont les suivants :

$$\Phi_u = \Phi_{1u} - \Phi_{2u} \quad (6)$$

et

$$A_u = 20 \log_{10} (|S_{1u}/S_{2u}|) \quad (7)$$

Par conséquent, le déphasage compensé de trou de forage (Φ_{BHC}) et l'atténuation compensée de trou de forage (A_{BHC}) sont les suivants :

$$\Phi_{BHC} = \frac{\Phi_u + \Phi_d}{2} \quad (8)$$

5 et

$$A_{BHC} = \frac{A_u + A_d}{2} \quad (9)$$

Le déphasage compensé de trou de forage et l'atténuation compensée de trou de forage réduisent grandement les effets de modification de diamètre du trou de forage.

La compensation de trou de forage est effectuée de façon différente pour la présente invention. Parce que le déphasage et l'atténuation sont mesurés à plusieurs angles azimutaux lorsque l'outil 50 tourne autour de l'axe du trou de forage, le caractère directionnel doit être préservé en combinant les mesures obtenues à partir de la bobine d'émetteur 52 et de la bobine d'émetteur 58.

On va se référer à la vue de profil (B) de la figure 18. La bobine d'émetteur 52 étant en émission, le sens de la sensibilité maximale est vers le haut (comme le montre la flèche), mais la bobine d'émetteur 58 étant en émission, le sens de la sensibilité maximale est vers le bas. Effectuer une compensation de trous de forage avec les deux émetteurs ayant le même angle azimutal détruirait le caractère directionnel de la mesure. On va se référer à la seconde vue de profil (D) à la figure 18, dans laquelle l'outil 50 a tourné de 180°. Maintenant, le sens de la sensibilité maximale, la bobine d'émetteur 52 étant en émission, est vers le bas, et le sens de la sensibilité maximale, la bobine d'émetteur 58 étant en émission, est vers le haut. Le point essentiel est que l'outil 50 tourne de 180° entre les mesures effectuées avec la bobine

d'émetteur 52 et avec la bobine d'émetteur 58 avant d'appliquer une compensation de trou de forage. Donc, les quantités compensées de trou de forage qui préserve le caractère directionnel sont les suivantes :

5 $PS(\Psi) = [PS1(\Psi) + PS2(\Psi + 180^\circ)] / 2$ (10)

et

$AT(\Psi) = [AT1(\Psi) + AT2(\Psi + 180^\circ)] / 2$ (11)

où Ψ est l'angle azimutal de l'outil 50, $PS1(\Psi)$ est le déphasage mesuré, la bobine d'émetteur 52 étant en
10 émission, $AT1(\Psi)$ est l'atténuation mesurée, la bobine d'émetteur 52 étant en émission, $PS2(\Psi)$ est le déphasage mesuré, la bobine d'émetteur 58 étant en émission, $AT2(\Psi)$ est l'atténuation mesurée, la bobine d'émetteur 58 étant en émission. Il est préférable
15 d'obtenir au moins quatre angles azimutaux ; huit ou seize angles azimutaux vont procurer de meilleures données.

On comprendra que des variantes de mises en application de l'invention puissent comprendre un outil
20 50 ayant plus de bobines d'émetteur 52, 58 et/ou plus de couples de bobines de récepteur 54 que ceux représentés à la figure 18. Une variante de configuration peut comprendre l'utilisation de bobines d'émetteur 52, 58 et/ou de bobines de récepteur 54
25 montées avec leurs axes inclinés par rapport à l'axe longitudinal du mandrin 56 (non représenté). Comme variante, l'outil 50 peut être conçu en tant qu'outil à induction ou en tant qu'outil dans lequel toute fonction de tensions, sommes ou différence de tensions
30 ou rapports de tension, est mesurée. Une autre variante de configuration peut être mise en application, l'outil 50 ayant des bobines d'émetteur multiples inclinées à la même orientation par rapport à l'axe du mandrin 56, mais à une orientation différente par rapport au couple
35 ou aux couples de bobines de récepteur (non

représenté).

Une analyse a montré qu'une mise en application efficace des blindages 14 est obtenue par connexion ou couplage électronique du blindage 14 au mandrin de l'outil de puits. Le blindage 14 peut être couplé de manière asymétrique ou de manière symétrique au mandrin, c'est-à-dire respectivement au niveau d'une ou des deux extrémités du blindage 14. Des techniques pour établir une connexion de ce type comprennent : la formation du blindage 14 avec des extrémités filetées à relier au mandrin ; l'utilisation de pattes d'attache ou de dispositifs de fixation pour monter le blindage sur le mandrin ; ou de quelconques autres moyens de montage appropriés comme on le sait dans la technique.

Dans le cas du mode de réalisation de l'invention du type à blindage en bande 20, un court-circuit électrique peut être mis en application avec un commutateur MOSFET (non représenté). Un mode de réalisation de ce type ferait tourner de manière efficace le dipôle magnétique axial d'une bobine d'antenne lorsque le commutateur est fermé. Un ensemble orthogonal de trois blindages en bande 20 de ce type peut être placé sur la bobine d'un outil à induction, par exemple, pour faire tourner le dipôle magnétique axial le long d'une quelconque direction vectorielle unitaire. La somme vectorielle de ces trois mesures dans le temps donnerait (après inversion) la résistivité horizontale et la résistivité verticale de la formation terrestre environnante.

La figure 20 représente un organigramme d'un procédé 200 pour mesurer les caractéristiques de formations terrestres entourant un trou de forage selon l'invention. Le procédé comprend le positionnement d'au moins un couple de bobines d'émission et d'au moins un couple de bobines de réception à l'intérieur du trou de

forage, chaque bobine du au moins un couple de bobines d'émission et chaque bobine du au moins un couple de bobines de réception étant entourées, de manière individuelle, par un nouveau blindage 205 ; l'émission en alternance d'une énergie électromagnétique à partir de chaque bobine d'émission d'au moins un couple de bobines d'émission nouvellement blindées 210 ; la réception de données de tension associées à l'énergie transmise au niveau des deux bobines de réception d'au moins un couple de bobines de réception nouvellement blindées 215 ; la rotation des deux bobines de l'au moins un couple de bobines d'émission nouvellement blindées et des deux bobines de l'au moins à un couple de bobines de réception nouvellement blindées de 180 degrés autour de l'axe 220 du trou de forage ; l'émission en alternance d'une énergie électromagnétique à partir de chaque bobine d'émission de l'au moins un couple de bobines d'émission nouvellement blindées 225 ; et la réception de données de tension associées à l'énergie transmise au niveau des deux bobines de réception de l'au moins un couple de bobines de réception nouvellement blindées 230.

La figure 21 représente un organigramme d'un procédé 300 pour effectuer des mesures directionnelles d'une formation terrestre entourant un trou de forage selon l'invention. Le procédé comprend la disposition d'au moins une bobine d'émission et d'au moins une bobine de réception à l'intérieur du trou de forage, chaque bobine étant conçue pour émettre ou recevoir respectivement une énergie électromagnétique incluant des composantes de champ azimutales, axiales, ou radiales 305 ; la concentration du rayonnement d'énergie électromagnétique en provenance d'au moins une bobine d'émission en entourant la bobine par au moins un nouveau blindage 310 ; l'émission d'énergie

électromagnétique à partir d'au moins une bobine d'émission nouvellement blindée 315 ; et la réception d'énergie électromagnétique associée à l'énergie émise au niveau d'une bobine de réception disposée 320.

5 La figure 22 représente un organigramme d'un autre procédé 400 pour effectuer des mesures directionnelles d'une formation terrestre entourant un trou de forage selon l'invention. Le procédé comprend la disposition d'au moins une bobine d'émission et d'au moins une
10 bobine de réception à l'intérieur du trou de forage, chaque bobine étant conçue pour émettre ou recevoir respectivement une énergie électromagnétique incluant des composantes de champ azimutales, axiales, ou radiales 405 ; la concentration de la sensibilité à
15 l'énergie électromagnétique d'au moins une bobine de réception en entourant la bobine par au moins un nouveau blindage 410 ; l'émission d'énergie électromagnétique à partir d'au moins une bobine d'émission 415 ; et la réception d'énergie
20 électromagnétique associée à l'énergie émise avec au moins une bobine de réception nouvellement blindée 420.

Tandis que les procédés et un dispositif de la présente invention ont été décrits en tant que modes de réalisation spécifiques, il va être évident aux hommes
25 de l'art que des modifications peuvent être appliquées aux structures et aux étapes ou à la séquence des étapes des procédés décrits dans ce document sans s'écarter du concept et de l'étendue de l'invention. Toutes les modifications similaires de ce type,
30 évidentes aux hommes de l'art, sont considérées comme étant à l'intérieur du concept et de l'étendue de l'invention telle que définie par les revendications annexées.

REVENDECATIONS

1. Dispositif directionnel de diagraphe pour mesurer des caractéristiques de formations terrestres entourant un trou de forage, caractérisé en ce qu'il comprend :

des moyens de support longitudinal (30) ayant deux extrémités et conçus pour être mobiles à travers le trou de forage ;

au moins une bobine d'émission (26) et au moins une bobine de réception (28) montées sur les moyens de support (30), chaque bobine (26 ; 28) étant respectivement conçue pour émettre ou recevoir une énergie électromagnétique (EM) ayant des composantes de champ azimutales, axiales ou radiales ;

au moins une bobine d'émission (26) ou au moins une bobine de réception (28) étant entourée par un blindage (14), le blindage (14) ayant au moins une fente inclinée (12') ou un élément conducteur incliné (22) en son sein, chaque au moins une fente inclinée (12') ou élément conducteur incliné (22) étant incliné à un certain angle par rapport à l'axe longitudinal des moyens de support (30) pour définir une atténuation sélective d'au moins une des composantes de champ d'énergie électromagnétique lorsque la composante interagit avec le blindage (14) ;

de sorte que les caractéristiques de formation sont mesurées dans une direction concentrée à cause de la mise en place du blindage (14) sur l'au moins une bobine d'émission (26) ou de réception (28).

2. Dispositif de diagraphe selon la revendication 1, les moyens de support longitudinal (30) étant de plus caractérisés par un sous-ensemble (40) au niveau d'une extrémité de ces derniers, le sous-ensemble (40) ayant une extrémité de fond et étant

conçu pour tourner autour de l'axe longitudinal des moyens de support (30).

3. Système pour effectuer des mesures directionnelles durant le forage d'un trou de forage en
5 utilisant une chaîne de forage (32), le système étant caractérisé en ce qu'il comprend :

un premier sous-ensemble (30) relié à l'extrémité de fond de la chaîne de forage (32) ;

10 un second sous-ensemble (40) ayant un foret (48) relié à une extrémité de cette dernière ;

des moyens formant moteur (36) reliés entre les premier (30) et second (40) sous-ensembles ;

15 les premier (30) et second (40) sous-ensembles ayant chacun au moins une antenne (34) montée sur ces derniers ;

chaque au moins une antenne (34) étant conçue pour émettre ou recevoir une énergie électromagnétique (EM) ayant des composantes de champ azimutales, axiales ou radiales ;

20 au moins une antenne (34) étant entourée par un blindage (14), le blindage ayant au moins une fente inclinée (12') ou élément conducteur incliné (22) en son sein, chaque au moins une fente inclinée (12') ou élément conducteur incliné (22) étant incliné à un
25 certain angle par rapport à l'axe du trou de forage pour réaliser une atténuation sélective d'au moins une des composantes de champ d'énergie électromagnétique lorsque la composante interagit avec le blindage (14).

4. Système selon la revendication 3, dans lequel
30 les moyens formant moteur (36) sont conçus pour faire tourner le second sous-ensemble (40).

5. Système selon la revendication 3, dans lequel
au moins une antenne (34) est montée sur le premier (30) ou sur le second (40) sous-ensemble de sorte que
35 l'axe de l'au moins une antenne (34) est incliné par

rapport à l'axe du sous-ensemble respectif (30 ; 40).

5 6. Dispositif directionnel de diagraphe pour mesurer des caractéristiques de formations terrestres entourant un trou de forage, caractérisé en ce qu'il comprend :

des moyens de support longitudinal (56) ayant deux extrémités et conçus pour être mobiles à travers le trou de forage ;

10 au moins une bobine d'émission (52) et au moins un couple de bobines de réception (54) montées sur les moyens de support (56), chaque bobine (52 ; 54) étant respectivement conçue pour émettre ou recevoir une énergie électromagnétique (EM) ayant des composantes de champ azimutales, axiales ou radiales ;

15 au moins une bobine d'émission ou les deux bobines d'au moins un couple de bobines de réception étant entourées par un blindage (14) ; le blindage (14) ayant au moins une fente inclinée (12') ou élément conducteur incliné (22) en son sein, chaque au moins une fente
20 inclinée (12') ou élément conducteur incliné (22) étant incliné à un certain angle par rapport à l'axe longitudinal des moyens de support (56) ;

de sorte que chaque au moins une fente inclinée (12') ou élément conducteur incliné (22) réalise une
25 atténuation sélective d'au moins une des composantes de champ d'énergie électromagnétique lorsque la composante interagit avec le blindage (14) pour mesurer les caractéristiques d'une formation dans une direction concentrée.

30 7. Dispositif de diagraphe selon la revendication 6, dans lequel au moins une bobine d'émission (52) ou les deux bobines (54) d'au moins un couple de bobines de réception sont montées sur les moyens de support (56) de sorte que leurs axes sont
35 inclinés par rapport à l'axe longitudinal des moyens de

support.

8. Procédé de mesure directionnelle des caractéristiques de formations terrestres entourant un trou de forage, caractérisé en ce qu'il comprend :

- 5 a) le positionnement d'au moins un couple de bobines d'émission (52, 58) et d'au moins un couple de bobines de réception (54) à l'intérieur du trou de forage, chaque bobine d'au moins un couple de bobines d'émission
10 (52, 58) et chaque bobine d'au moins un couple de bobines de réception (54) étant entourées de façon individuelle par un blindage (14), chaque blindage individuel (14) ayant au moins une fente inclinée (12')
15 ou élément conducteur incliné (22) en son sein, de sorte que chaque au moins une fente inclinée (12') ou élément conducteur incliné (22) définit une atténuation sélective d'au moins une composante de champ d'énergie
20 électromagnétique lorsque la composante interagit avec le blindage (14) ;
- b) l'émission en alternance d'énergie électromagnétique (EM) en provenance de chaque bobine d'émission d'au moins un couple
25 de bobines d'émission blindées ;
- c) la réception de données de tension associées à l'énergie émise au niveau des deux bobines de réception d'au moins un couple de bobines de réception blindées ;
- 30 d) la rotation des deux bobines de l'au moins un couple de bobines d'émission blindées et des deux bobines de l'au moins un couple de bobines de réception blindées de 180 degrés autour de l'axe du trou de forage ;
- 35 e) l'émission en alternance d'énergie

électromagnétique (EM) en provenance de chaque bobine d'émission de l'au moins un couple de bobines d'émission blindées ; et

- 5 f) la réception de données de tension associées à l'énergie émise au niveau des deux bobines de réception de l'au moins un couple de bobines de réception blindées.

9. Dispositif de diagraphie selon la revendication 1, 6, ou 8, dans lequel la
10 caractéristique de la formation est la résistivité.

10. Procédé pour effectuer des mesures directionnelles d'une formation terrestre entourant un trou de forage, caractérisé en ce qu'il comprend :

- 15 a) la disposition d'au moins une bobine d'émission (26) et d'au moins une bobine de réception (28) à l'intérieur du trou de forage, chaque bobine (26 ; 28) étant conçue pour émettre ou recevoir respectivement une énergie électromagnétique (EM) incluant des
20 composantes de champ azimutales, axiales ou radiales ;

- b) la concentration du rayonnement d'énergie électromagnétique (EM) en provenance d'au moins une bobine d'émission (26) en entourant
25 la bobine (26) par au moins un blindage (14), chaque au moins un blindage (14) ayant au moins une fente inclinée (12') ou élément conducteur incliné (22) en son sein, chaque au moins une fente inclinée (12') ou élément
30 conducteur incliné (22) étant incliné à un certain angle par rapport à l'axe du trou de forage, pour atténuer de manière sélective au moins une des composantes de champ d'énergie électromagnétique lorsque la composante
35 interagit avec l'au moins un blindage (14) ;

c) l'émission d'énergie électromagnétique (EM) en provenance d'au moins une bobine d'émission blindée ; et

5 d) la réception d'énergie électromagnétique (EM) associée à l'énergie émise au niveau d'une bobine de réception disposée.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé de plus par l'entourage d'au moins une bobine de réception (28) par au moins un blindage (14),
10 chaque au moins un blindage (14) ayant au moins une fente inclinée (12') ou un élément conducteur incliné (22) en son sein, chaque au moins une fente inclinée (12') ou élément conducteur incliné (22) étant incliné à un certain angle par rapport à l'axe du trou de
15 forage, pour atténuer de manière sélective au moins une des composantes de champ d'énergie électromagnétique lorsque la composante interagit avec l'au moins un blindage (14).

12. Procédé selon la revendication 10, l'étape
20 (c) étant caractérisée de plus par la rotation de l'au moins une bobine d'émission blindée (26) autour de l'axe du trou de forage lorsque l'au moins une bobine d'émission blindée (26) émet de l'énergie électromagnétique (EM).

25 13. Procédé pour effectuer des mesures directionnelles d'une formation terrestre entourant un trou de forage, caractérisé en ce qu'il comprend :

a) la disposition d'au moins une bobine d'émission (26) et d'au moins une bobine de
30 réception (28) à l'intérieur du trou de forage, chaque bobine (26 ; 28) étant conçue pour émettre ou recevoir respectivement une énergie électromagnétique (EM) incluant des composantes de champ azimutales, axiales ou
35 radiales ;

- b) la concentration du rayonnement d'énergie électromagnétique (EM) d'au moins une bobine d'émission (26) en entourant la bobine (26) par au moins un blindage (14), chaque au moins un blindage (14) ayant au moins une fente inclinée (12') ou élément conducteur incliné (22) en son sein, chaque au moins une fente inclinée (12') ou élément conducteur incliné (22) étant incliné à un certain angle par rapport à l'axe du trou de forage, pour atténuer de manière sélective au moins une des composantes de champ d'énergie électromagnétique lorsque la composante interagit avec l'au moins un blindage (14) ;
- c) l'émission d'énergie électromagnétique (EM) en provenance d'au moins une bobine d'émission ; et
- d) la réception d'énergie électromagnétique (EM) associée à l'énergie émise avec au moins une bobine de réception blindée.

14. Procédé selon la revendication 10 ou 13, caractérisé de plus par la disposition d'une bobine de réception (28) ou d'une bobine d'émission (26) à l'intérieur du trou de forage de sorte que l'axe de la bobine est incliné par rapport à l'axe du trou de forage.

15. Procédé selon la revendication 13, caractérisé de plus par l'entourage d'au moins une bobine d'émission (26) par au moins un blindage (14), chaque au moins un blindage (14) ayant au moins une fente inclinée (12') ou élément conducteur incliné (22) en son sein, chaque au moins une fente inclinée (12') ou élément conducteur incliné (22) étant incliné à un certain angle par rapport à l'axe du trou de forage, pour atténuer de manière sélective au moins une des

composantes de champ d'énergie électromagnétique
lorsque la composante interagit avec l'au moins un
blindage (14).

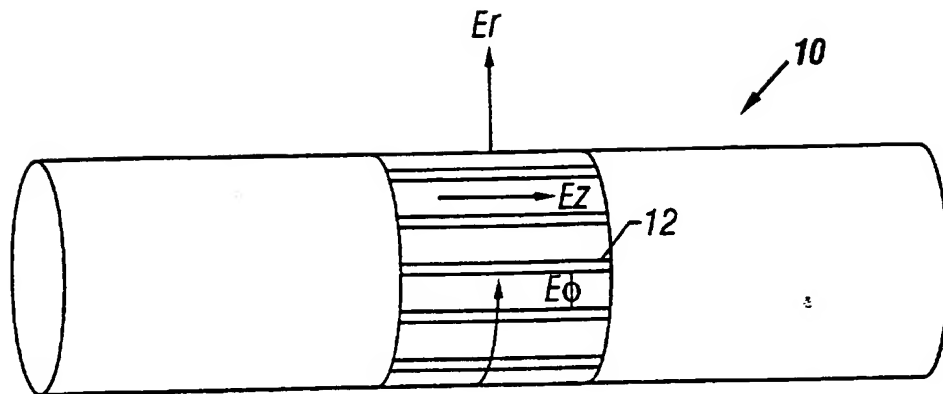


FIG. 1A

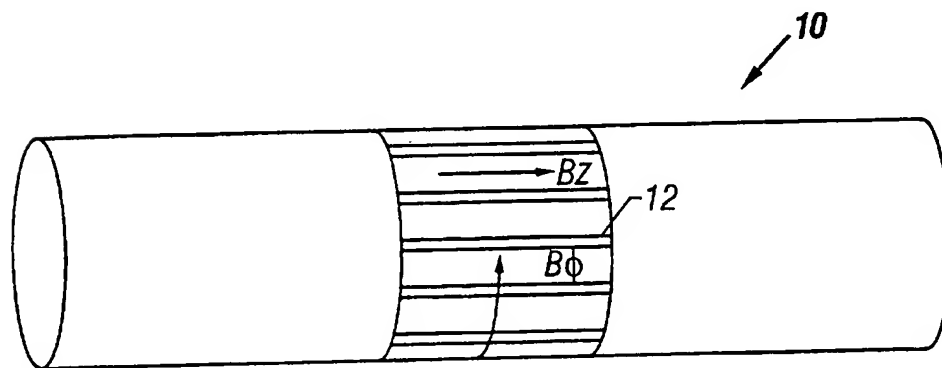
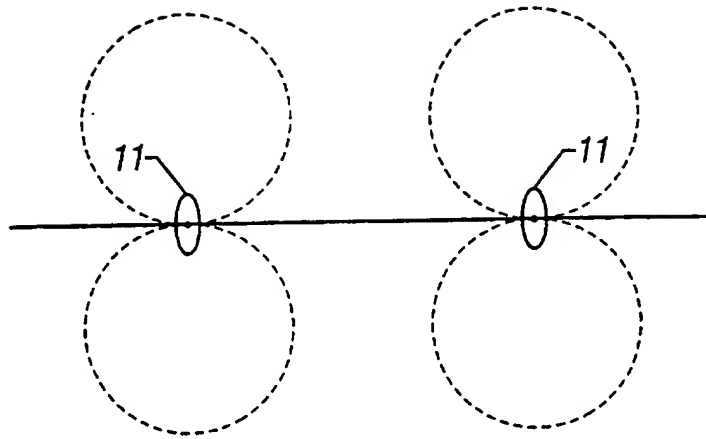
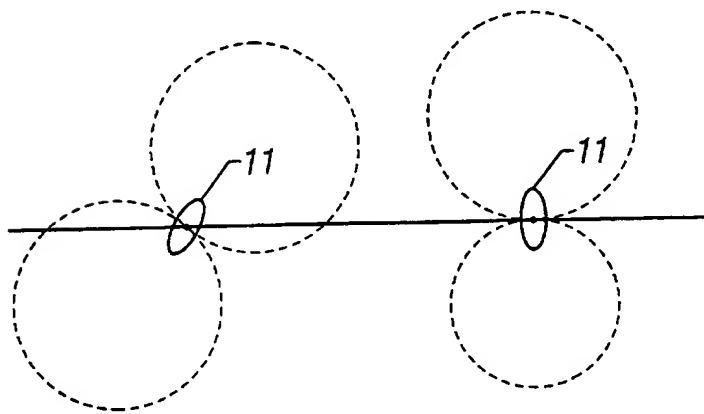
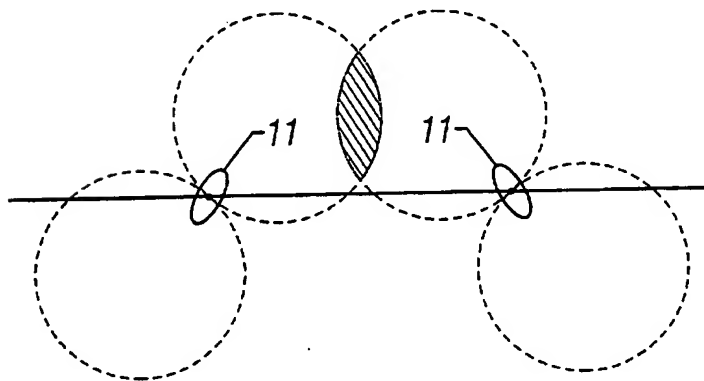


FIG. 1B

**FIG. 2A****FIG. 2B****FIG. 2C**

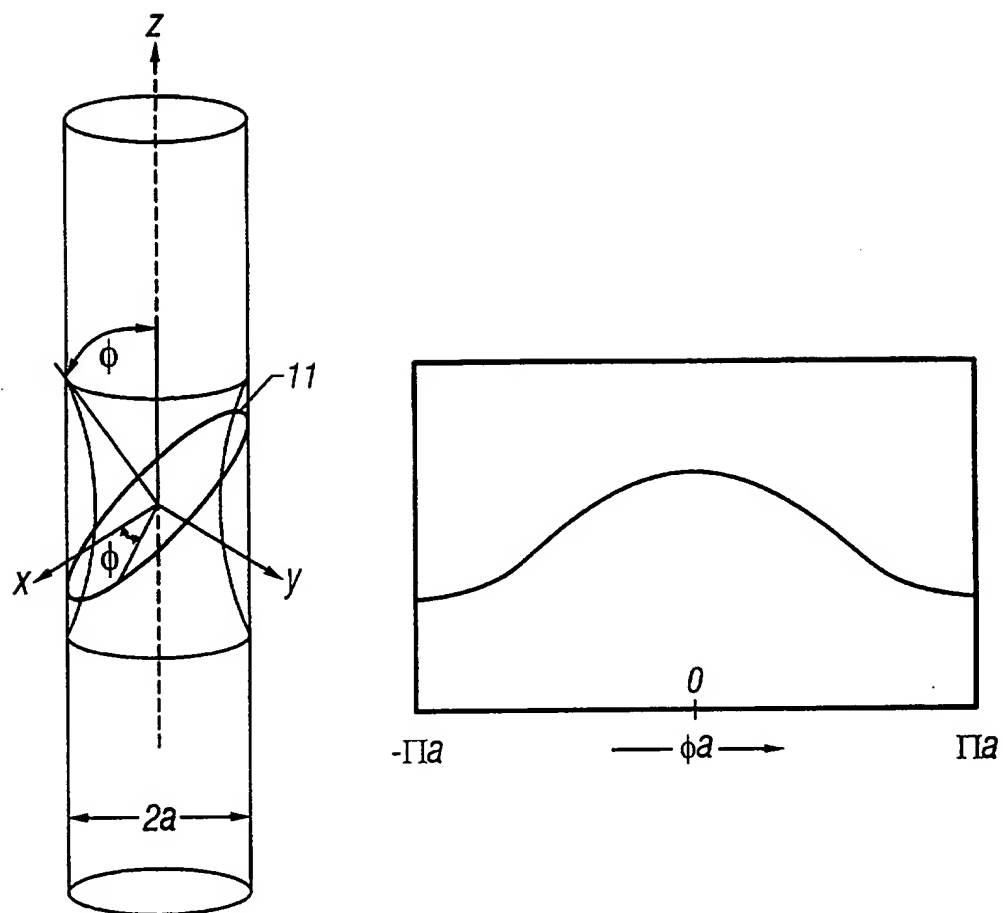


FIG. 3

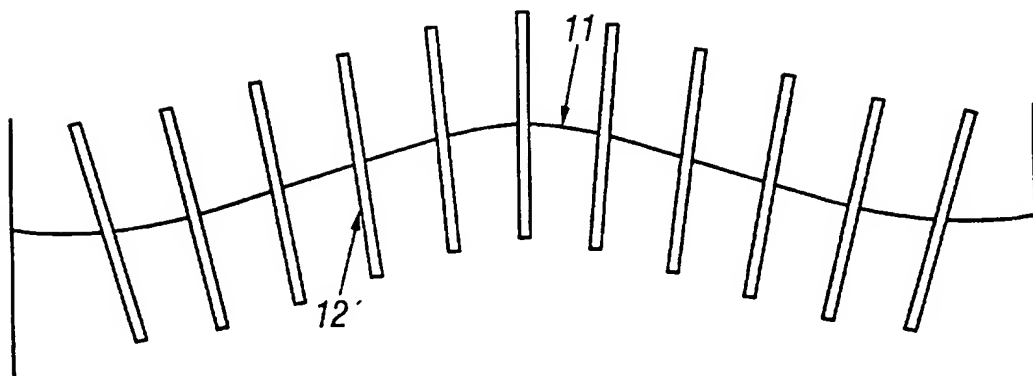


FIG. 4

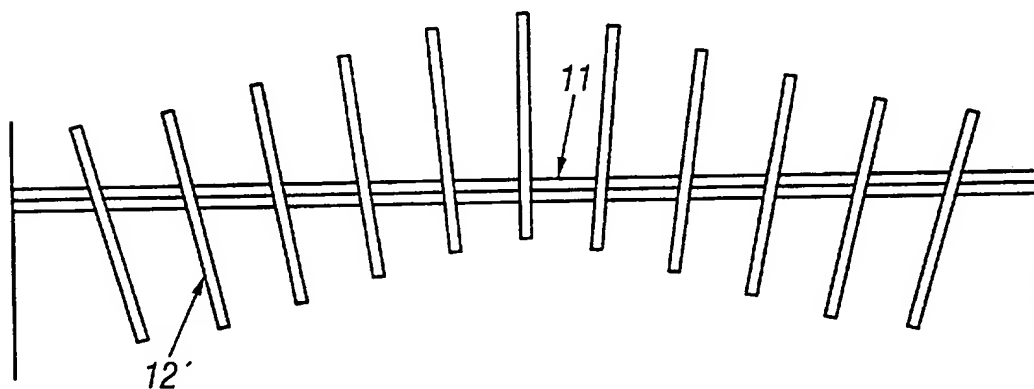


FIG. 5

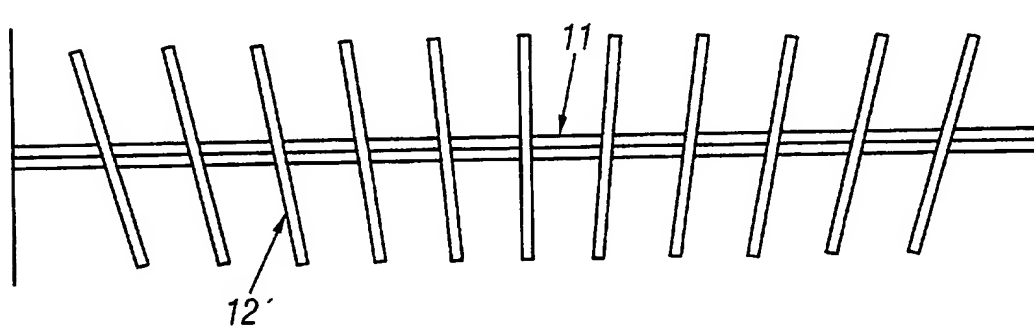


FIG. 6

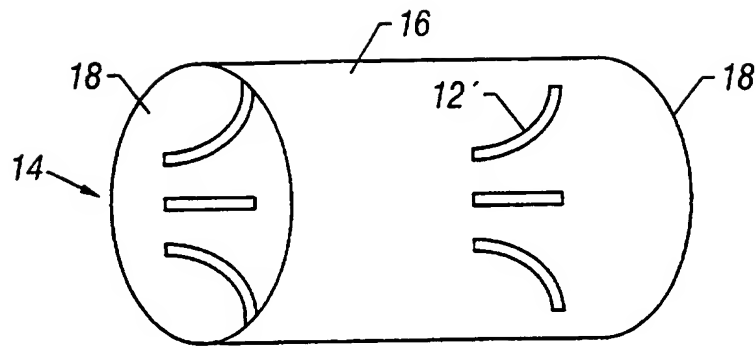


FIG. 7

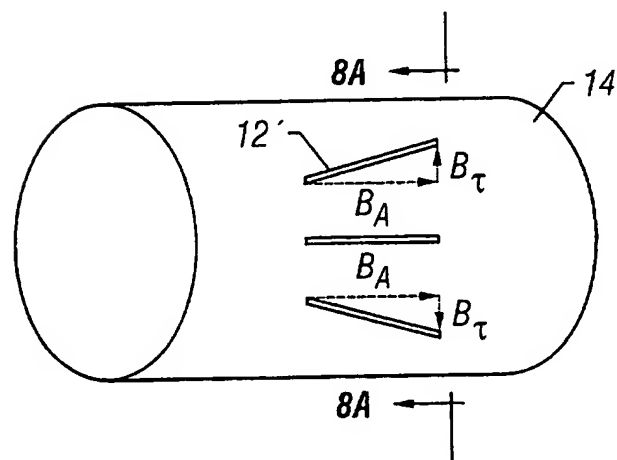


FIG. 8A

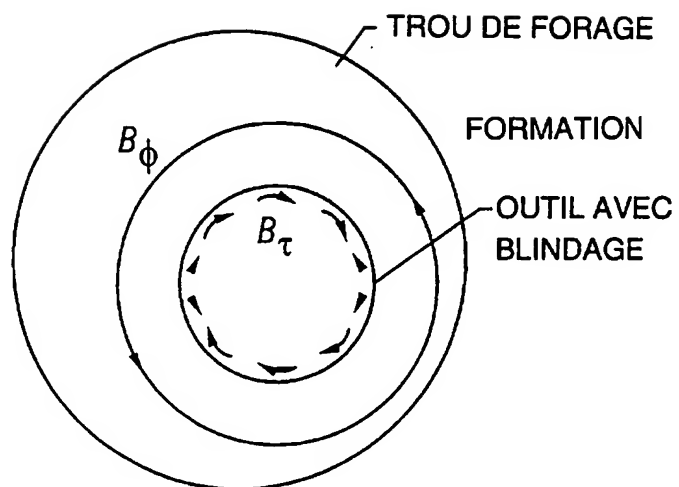


FIG. 8B

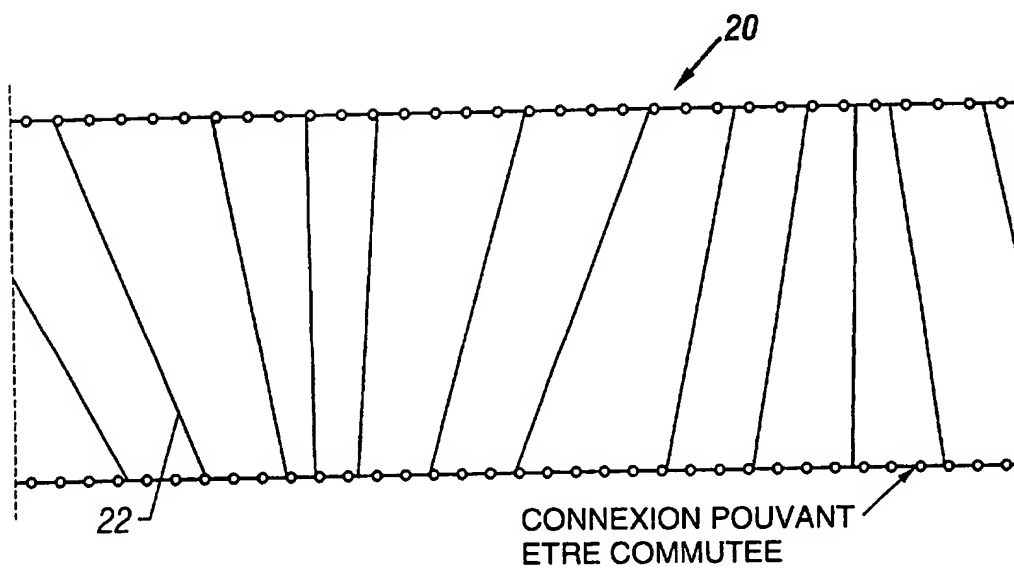
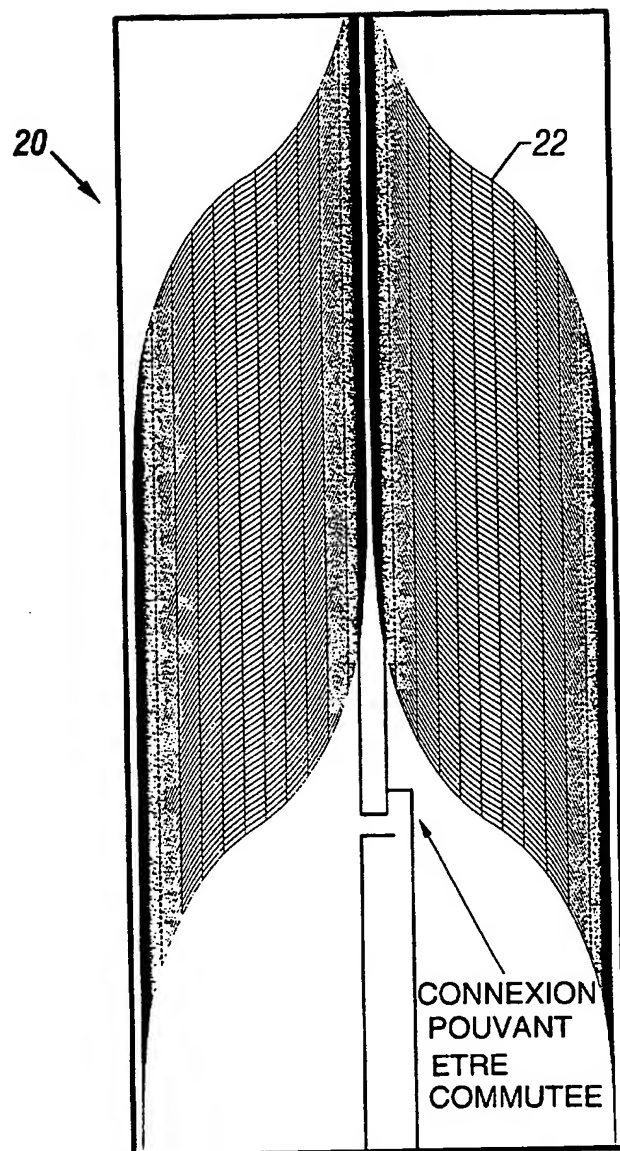
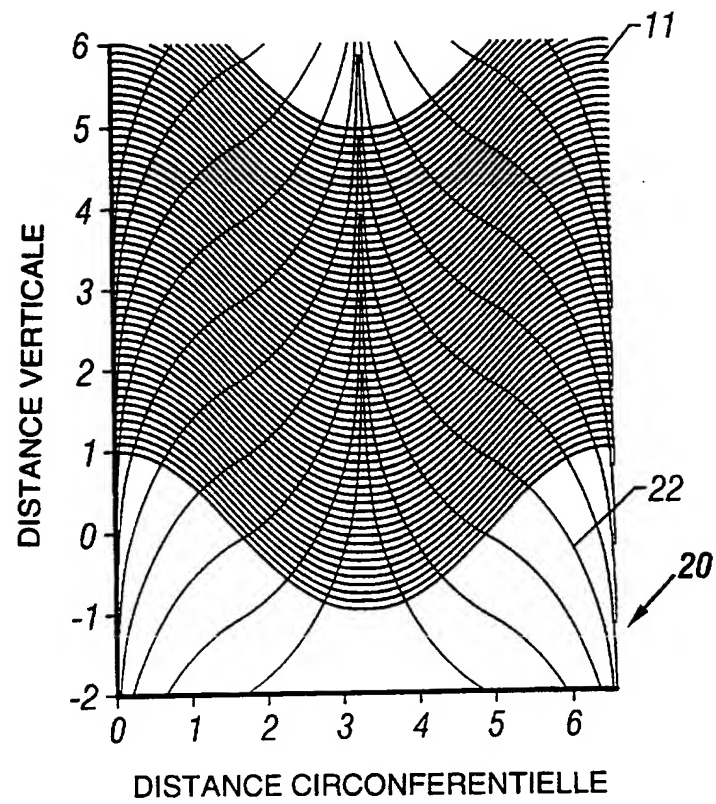
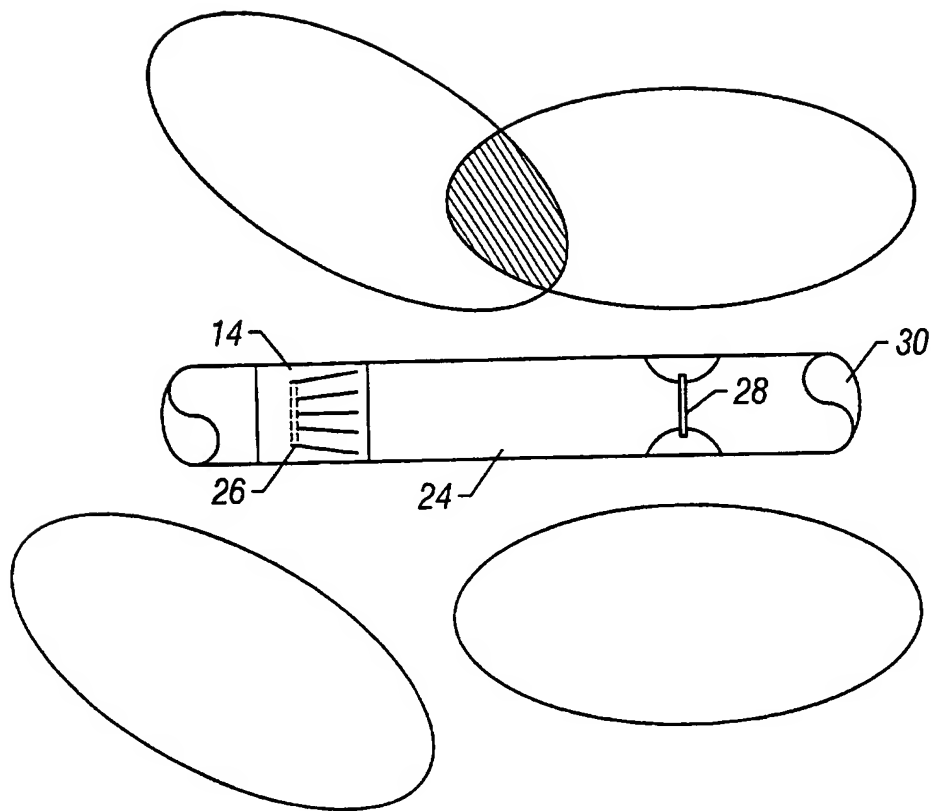


FIG. 9

**FIG. 10**

**FIG. 11**

**FIG. 12**

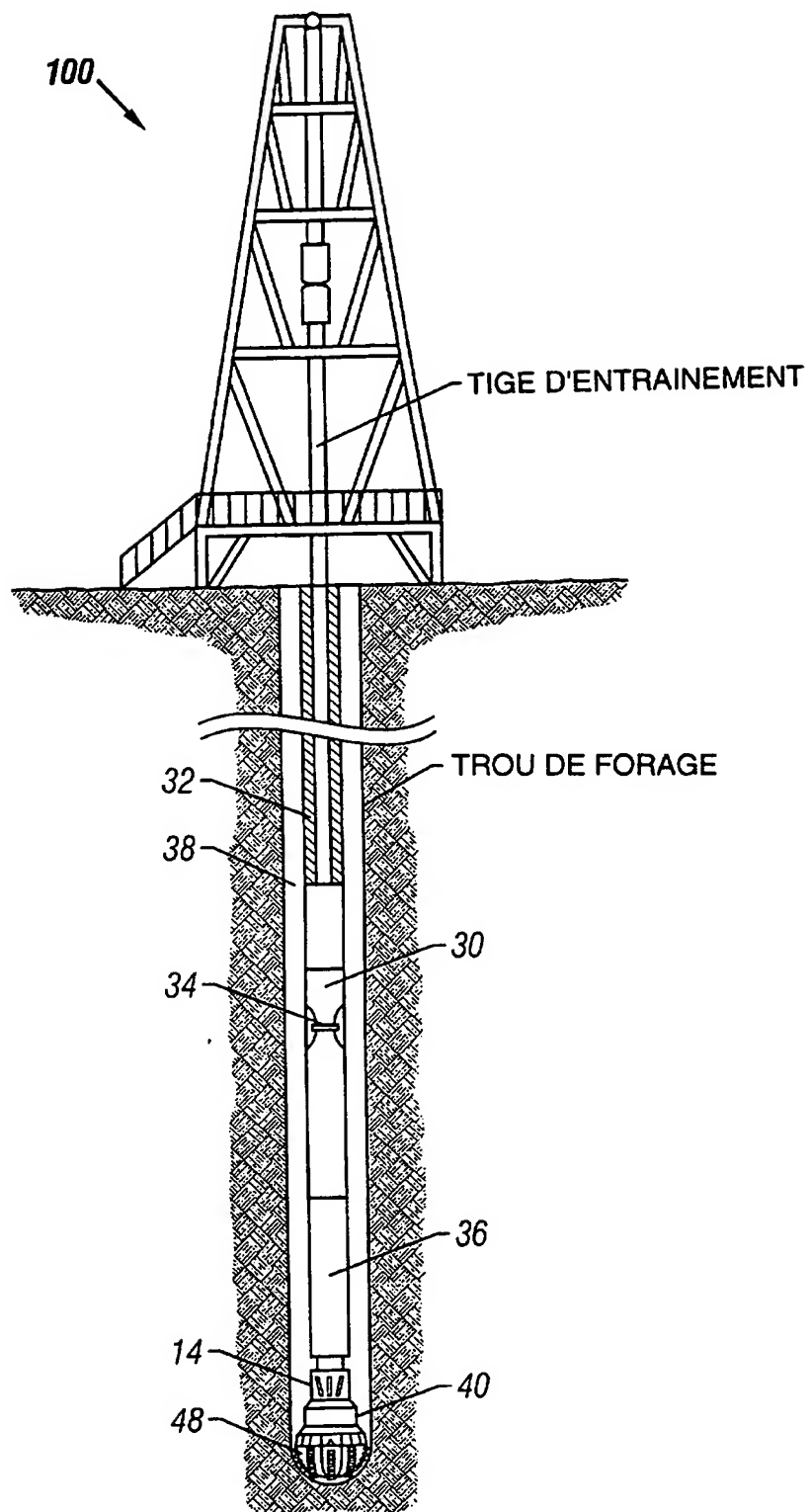


FIG. 13

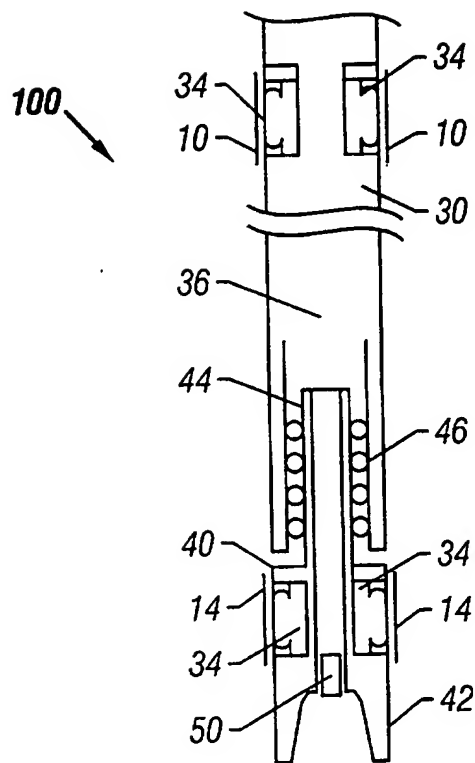


FIG. 14

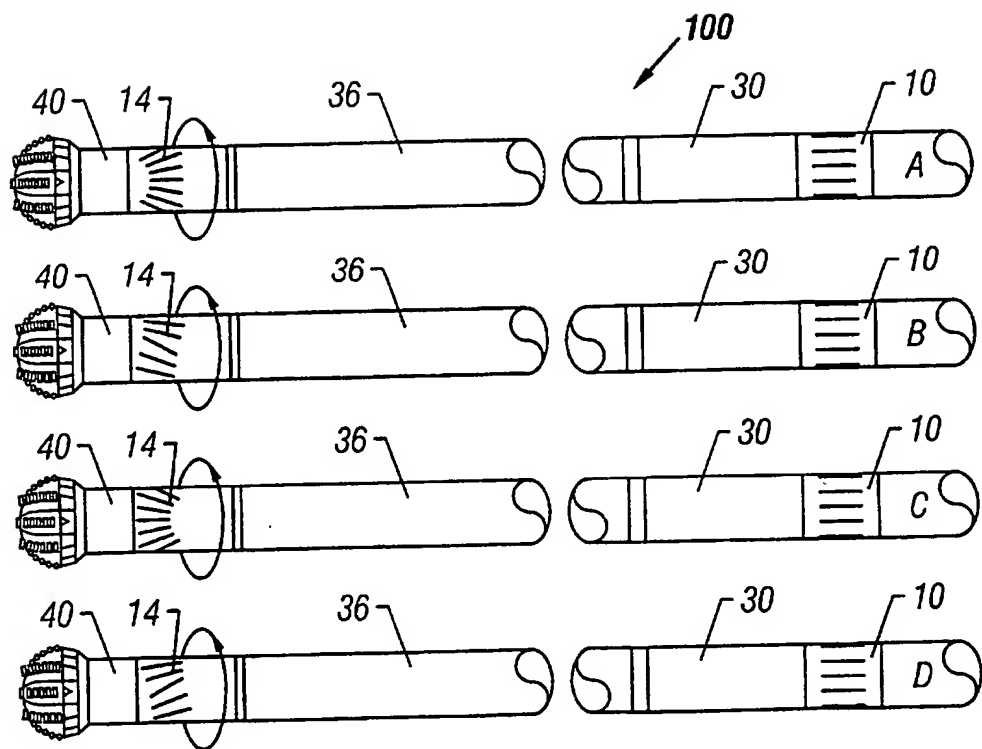


FIG. 15

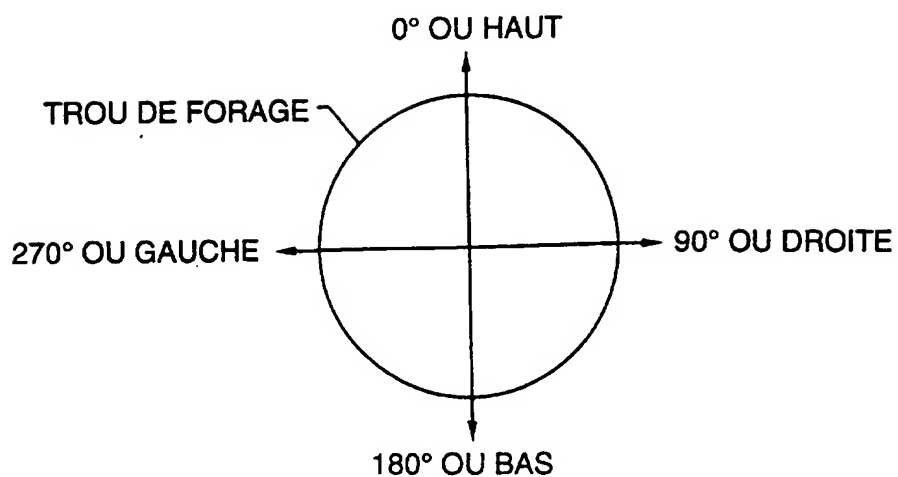


FIG. 16

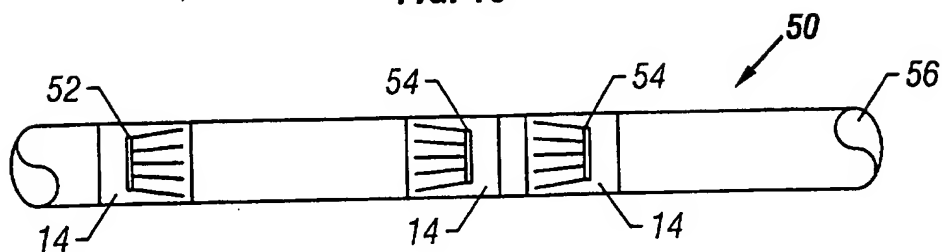


FIG. 17

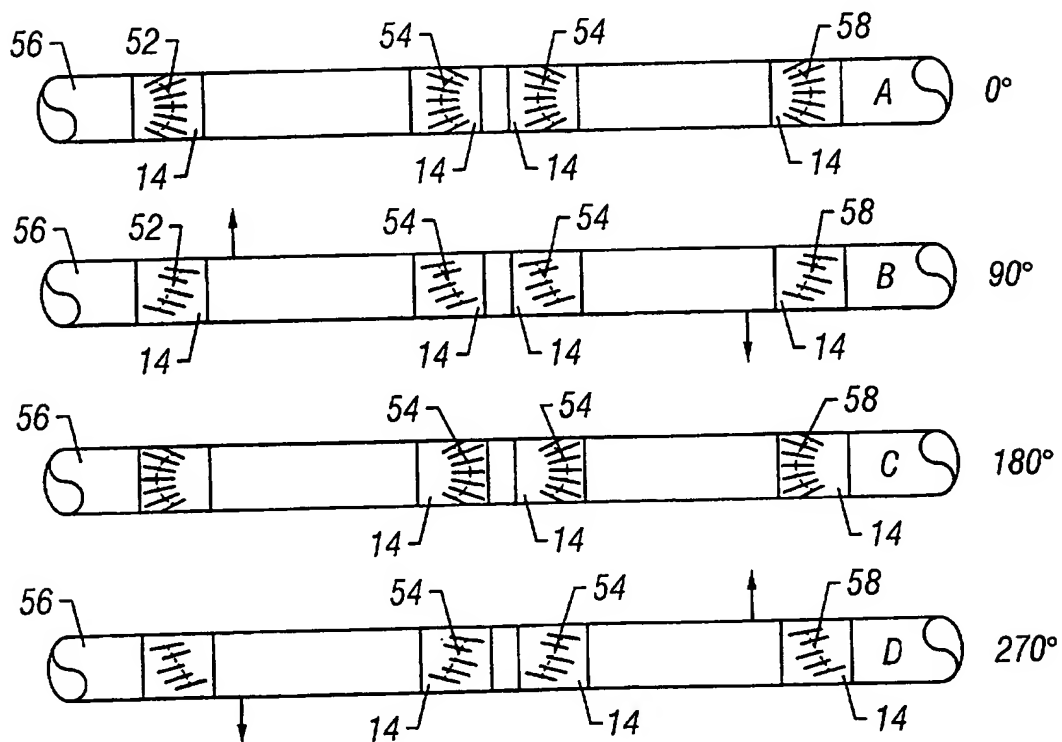


FIG. 18

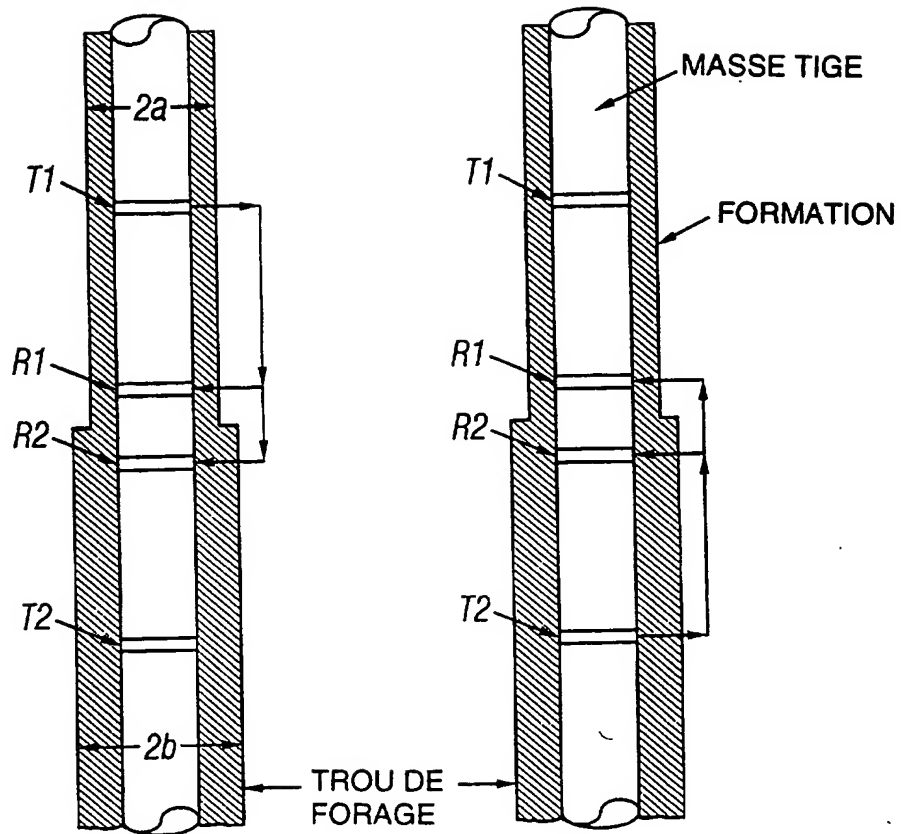


FIG. 19A

FIG. 19B

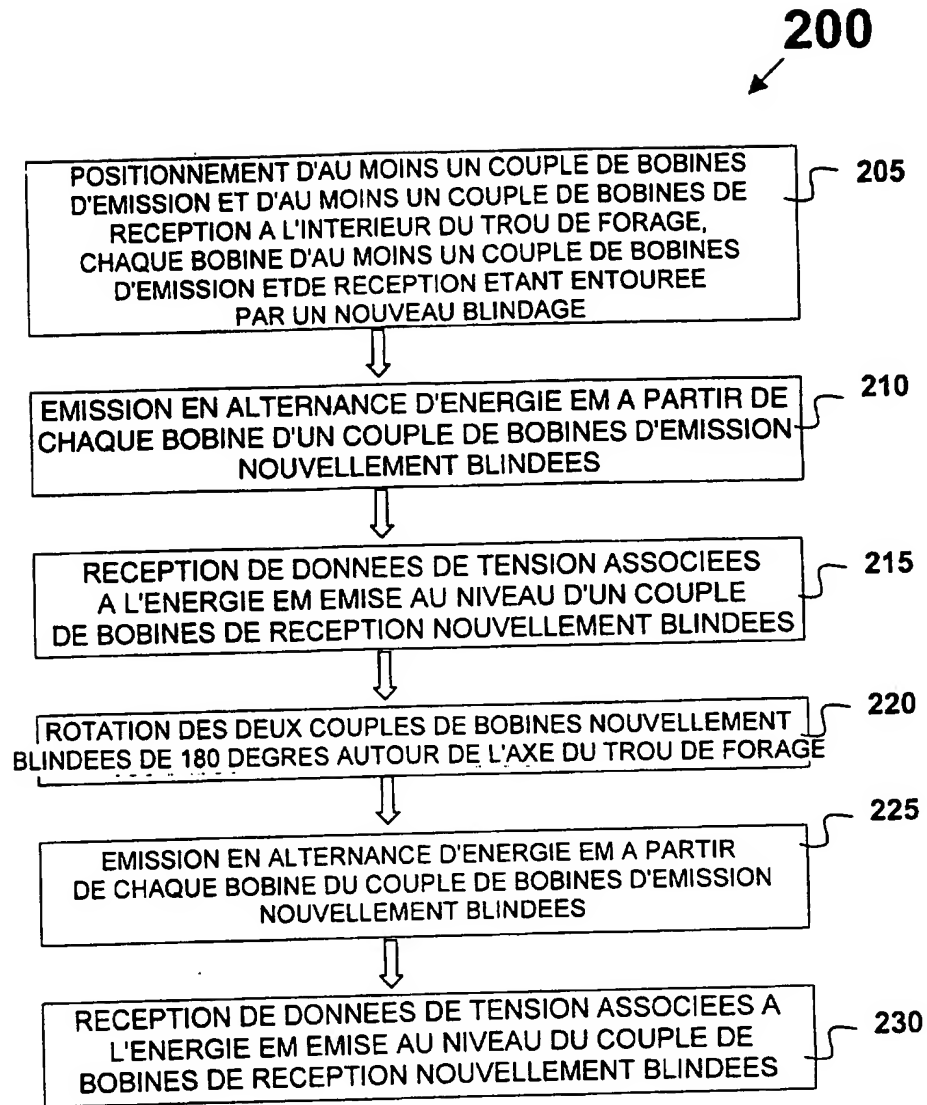


FIG. 20

15/16

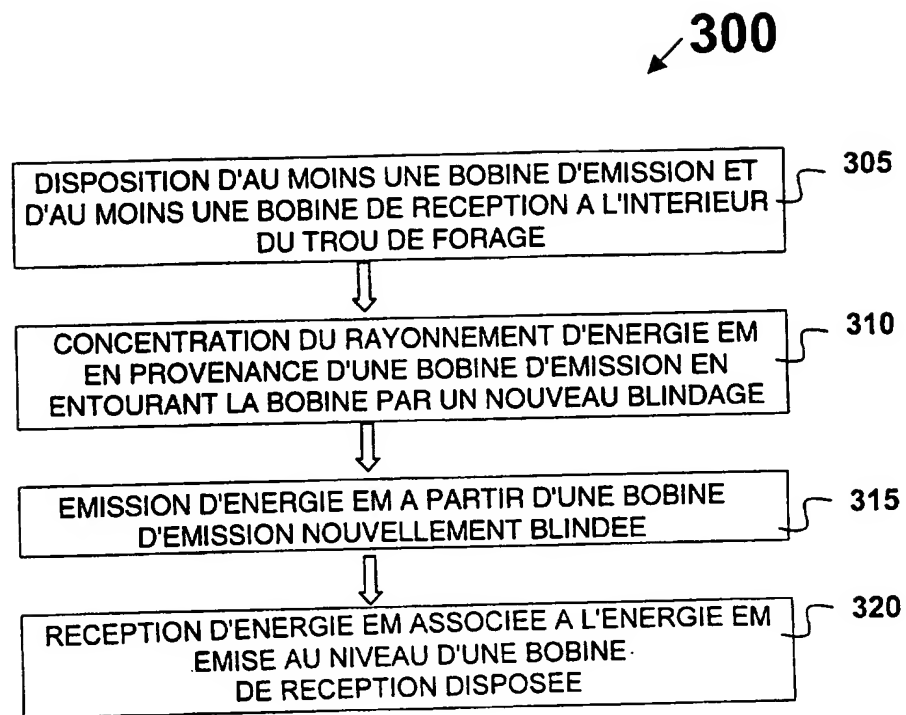
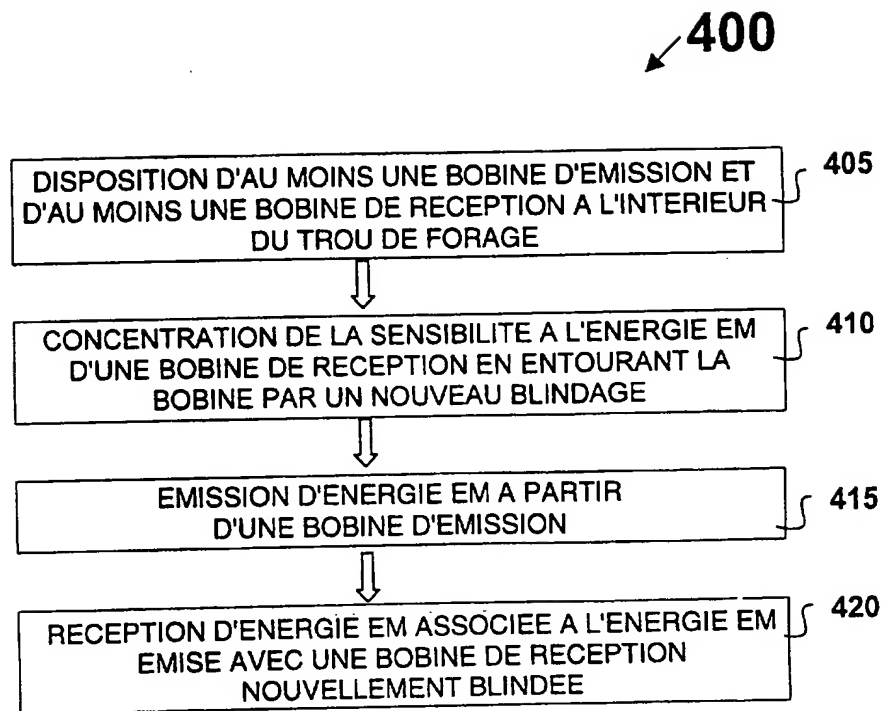


FIG. 21

16/16

*FIG. 22*